

U N I V E R S I T E I T G E N T

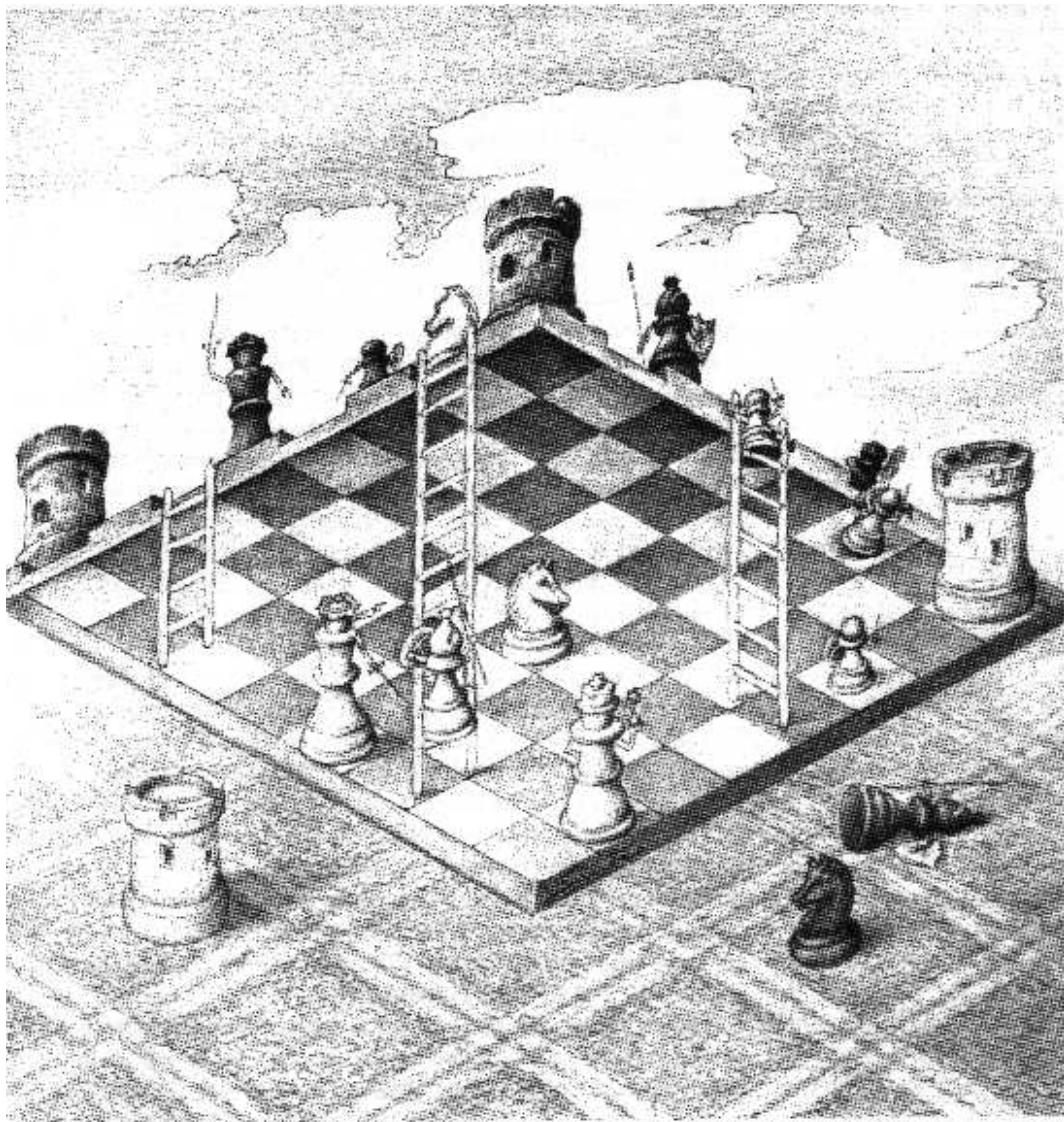
Faculteit van de Letteren en Wijsbegeerte

COMPLEMENTARITEIT
IN KENNISTHEORETISCH PERSPECTIEF

Proefschrift voorgelegd tot het behalen van de graad van
doctor in de wijsbegeerte door
Peggy Casteleyn

Promotor: Prof. Dr. D. Batens
Academiejaar 2001-2002

© september 2002 by Peggy Casteleyn



Het gekromde schaakbord, Sandro Del-Prete, 1987. Halverwege klapt het bord om; de witte stukken staan in bovenaanzicht en de zwarte in onderaanzicht. (Falletta1989, blz. 36)

“Filosofie is nadenken over dingen die je niet kan bewijzen”
(Vincent Domen, 10 jaar)

VOORWOORD

Eindelijk is het dan zover. De ‘normale’ termijn voor het schrijven van een doctoraatsthesis heb ik immers ruim overschreden. Het was ook niet zo vanzelfsprekend om naast een volle dagtaak als ambtenaar bij de stad Antwerpen en als moeder van twee kinderen dit werk te schrijven. In al die drukke bezigheden heb ik verschillende keren de moed opgegeven. Gelukkig waren er dan altijd wel mensen die me weer opkrikten, zodat ik weer terug aan de slag ging.

Ik heb wel ’t meeste te danken aan mijn echtgenoot, Marc Domen, die mij hierbij door dik en dun ondersteund heeft: geluisterd als ik ’t niet meer zag zitten, kinderoppas gespeeld en mee gebrainstormd als ik weer eens eindeloos zat te puzzelen. En dan heb ik nog niets gezegd over alle praktische hand- en spandiensten: het zippen van mijn teksten, in allerijl toner voor de printer halen, teksten nalezen,... Ook de kinderen hebben een groot steentje bijgedragen: referenties aangeduid en nagekeken, ontbijt op bed gebracht... Marc, Vincent en Sofie, hartelijk bedankt! Ik zal nu eindelijk tijd hebben om mee naar de kermis te gaan.

Een vaste constante in heel die periode was ook mijn promotor, Dirk Batens. Hoewel ik hem gedurende die jaren niet zoveel zag, was hij toch telkens vol belangstelling als ik na ettelijke maanden (of jaren) weer eens van me liet horen. Als ik de moed al eens opgaf, gaf hij me toch altijd de indruk er nog in te geloven. Inhoudelijk waren zijn vragen en opmerkingen altijd een zetje om een of ander puzzelstuk op zijn plaats te krijgen.

Wie er ook altijd voor me was, was mijn beste vriendin Marijke De Roeck, die ondanks haar hectische leven toch altijd wat tijd nam om me op te beuren, tekstadvies te geven etc.

Collega’s van de stad Antwerpen, die begrip hadden voor mijn ‘studieafwijking’ waren er niet veel, maar enkelen ben ik toch ook veel dank verschuldigd. Gilbert Van der Auwera zette mij met de verhalen over zijn therapeutische praktijk op het spoor van systeemtheorie. Hij was overigens één van de weinigen met wie ik ook wel eens inhoudelijk kon brainstormen. Ik heb ook wat te danken aan Roel Verhaert, die in allerijl vervanging voor mij moest zoeken toen ik een jaar loopbaanonderbreking nam. Ik vond het hartverwarmend dat hij me zo goed steunde ondanks het feit dat ik hem in de steek moest laten aan de stad Antwerpen. Ook alle collega’s, die me tijdens dit laatste jaar grapjes bleven mailen of nieuwtjes over de stad (Harry

Neel, Karla Blomme, Inge De Moor, Sofie De Clerck en nog vele anderen) hebben me af en toe een leuke pauze bezorgd.

Ik heb vele jaren aan mijn doctoraat gewerkt zonder veel contact met het academisch milieu. Afgezien van de contacten met Dirk Batens, had ik weinig kans om met andere filosofen te praten. Dit jaar heb ik mijn schade ingehaald. Vooral Alex Klijn en Kristof De Clercq hebben zich meermaals van hun werk laten houden om mijn hersenspinsels te aanhoren. Joke Meheus, Eric Weber, Guido Vanackere, Dagmar Provijn, Maarten Van Dijck, Liza Verhoeven, Tim De Mey, Isabel D'Hanis, Jeroen Van Bouwel en Robrecht Vanderbeeken waren allen fijne collega's, die er voor mij waren: om hun bureau te lenen, wat feedback of praktisch advies te geven of gewoon gezellig te pauzeren.

Verder wil ik ook de leden van de verschillende commissies bedanken. Ik kan me voorstellen dat er leukere bezigheden zijn dan de teksten van studenten te lezen.

Het Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek mag ik zeker niet vergeten. Dank zij hun financiële steun kon ik me dit laatste jaar volledig toewijden aan de voltooiing van mijn doctoraat. Wie weet hoeveel jaren er anders nog waren overgegaan.

Een laatste woordje van dank wil ik richten aan mijn ouders. De niet aflatende ijver waarmee mijn moeder vroeger dag na dag mijn lessen overhoorde en het belang dat mijn ouders hechtten aan studeren ligt aan de basis van het werk dat hier nu ligt.

INHOUDSTAFEL

| | |
|---|----|
| Voorwoord..... | 3 |
| Inhoudstafel..... | 5 |
| INLEIDING | 8 |
| DEEL 1. UITGANGSPUNTEN..... | 14 |
| 1. Complementaire beschrijvingen..... | 15 |
| 1.1. Inleiding..... | 15 |
| 1.2. De externe beschrijving | 16 |
| 1.2.1. Definitie..... | 16 |
| 1.2.2. Nadruk op het ‘ding’ als eenheid..... | 16 |
| 1.3. De interne beschrijving | 20 |
| 1.3.1. Definitie..... | 20 |
| 1.3.2. Nadruk op ‘relatie’ als eenheid..... | 23 |
| 1.4. Externe versus interne beschrijving..... | 28 |
| 1.5. Kenmerken van de beschrijvingen..... | 29 |
| 1.5.1. Accidentele versus substantiële verandering..... | 29 |
| 1.5.2. Logica van de interne versus externe beschrijving..... | 30 |
| 1.5.3. Digitale versus analoge communicatie..... | 36 |
| 1.5.4. Expliciete versus impliciete betekenis..... | 39 |
| 1.5.5. Geheel als som van de delen versus holistisch geheel..... | 40 |
| 1.5.6. Verschillende niveaus..... | 42 |
| 1.6. Complementariteit..... | 45 |
| 1.7. Complementaire processen..... | 47 |
| 1.7.1. Whiteheads procesfilosofie..... | 47 |
| 1.7.2. Interne en externe verandering..... | 53 |
| 1.7.3. Soorten interne relaties..... | 54 |
| 1.7.4. Soorten externe relaties..... | 55 |
| 1.7.5. De wisselwerking tussen interne en externe beschrijving..... | 55 |
| 1.7.6. Paradoxen..... | 62 |
| 1.8. Complementariteit en evolutie..... | 67 |
| 1.9. Stellingen..... | 71 |
| 2. Complementaire kennis..... | 73 |
| 2.1. Inleiding..... | 73 |
| 2.2. Evolutie van kennis in wetenschap..... | 73 |
| 2.2.1. Het empirisch-rationeel fundament van wetenschappen..... | 73 |
| 2.2.2. Kennistheoretische complementariteit..... | 75 |
| 2.3. Wat is kennis?..... | 76 |
| 2.3.1. Geobjectiveerde kennis..... | 76 |
| 2.3.2. Grenzen aan de kennis..... | 78 |
| 2.3.3. Definitie van kennis | 80 |
| 2.3.4. De kennisrelatie..... | 80 |
| 2.3.5. Subject en object nader bekeken..... | 81 |
| 2.3.6. De kennisrelatie opnieuw..... | 82 |
| 2.3.7. Kennis: nieuwe definitie..... | 82 |
| 2.3.8. Kennisrelatie versus kennisinhoud..... | 84 |
| 2.4. Kennis als proces..... | 89 |

| | |
|--|-----|
| 2.5. Stellingen..... | 93 |
| DEEL 2. COMPLEMENTAIRE BESCHRIJVINGEN IN DE WETENSCHAP..... | 94 |
| 1. Systeemdenken..... | 95 |
| 1.1. Systeemdenken: eenheid in verscheidenheid | 95 |
| 2.1.1. Algemene systeemtheorie als interdisciplinaire wetenschapsrichting..... | 95 |
| 1.1.1. Toegepaste systeemwetenschappen en systeembenaderingen. | 97 |
| 1.1.2. Systeemfilosofie..... | 99 |
| 1.2. Systeemdenken..... | 99 |
| 1.3. Noodzaak van het systeemdenken..... | 100 |
| 1.4. Methode van de algemene systeemtheorie..... | 101 |
| 1.4.1. Uitgangspunten..... | 101 |
| 1.4.2. Beschrijving van systemen..... | 102 |
| 1.5. Kenmerken van systeemdenken..... | 103 |
| 1.5.1. Het georganiseerd geheel of systeem als paradigma..... | 103 |
| 1.5.2. Het hiërarchisch principe..... | 104 |
| 1.5.3. Terugkoppelingskringen..... | 107 |
| 1.6. Levende systemen..... | 108 |
| 1.7. Complementariteit in systeemdenken..... | 110 |
| 1.7.1. Interne en externe beschrijvingen..... | 110 |
| 1.7.2. Causaliteit..... | 115 |
| 1.7.3. Interne verandering..... | 116 |
| 1.7.4. Externe verandering..... | 118 |
| 1.7.5. Complementaire processen..... | 119 |
| 1.8. Epistemologie in systeemdenken..... | 119 |
| 2. Prigogines dissipatieve systemen..... | 122 |
| 2.1. Inleiding..... | 122 |
| 2.2. Thermodynamica..... | 122 |
| 2.3. Thermodynamica versus dynamica..... | 124 |
| 2.4. Niet-lineaire systemen..... | 125 |
| 2.4.1. Onvoorspelbaarheid..... | 126 |
| 2.4.2. Het vlindereffect..... | 127 |
| 2.4.3. De faseruimte..... | 129 |
| 2.4.4. Dissipatieve structuren..... | 131 |
| 2.5. Kans en noodzaak..... | 134 |
| 2.6. Interne en externe beschrijvingen..... | 134 |
| 2.6.1. Paden en ensembles..... | 134 |
| 2.6.2. Bifurcaties..... | 135 |
| 2.6.3. Complementariteit..... | 136 |
| 3. Bohrs complementariteit..... | 137 |
| 3.1. Inleiding..... | 137 |
| 3.2. Quantumfysica..... | 137 |
| 3.2.1. Ontstaan van de quantumfysica..... | 137 |
| 3.2.2. De golf-deeltjes dualiteit..... | 143 |
| 3.2.3. De onzekerheidsrelatie..... | 148 |
| 3.2.4. Quantumtheorieën..... | 150 |
| 3.3. Complementariteit | 154 |
| 3.3.1. Bohrs quantumpostulaat..... | 154 |
| 3.3.2. Het onzekerheidsprincipe..... | 158 |
| 3.3.3. De golf-deeltjes dualiteit..... | 158 |
| 3.3.4. Verschil tussen klassieke en quantumfysica..... | 160 |

| | |
|--|-----|
| 3.3.5.Complementariteit als interpretatie van quantummechanica..... | 161 |
| 3.3.6.Complementariteit als raamwerk..... | 163 |
| 3.4.Complementariteit en epistemologie..... | 165 |
| 3.4.1.Complementariteit en objectiviteit..... | 166 |
| 3.4.2.Bohrs ‘fenomeen’..... | 167 |
| 3.4.3. Ontologische status van de onafhankelijke fysische realiteit..... | 170 |
| 3.5.Complementariteit tussen interne en externe beschrijvingen bij Bohr..... | 173 |
| 3.5.1.Interne en externe beschrijvingen..... | 173 |
| 3.5.2.Bohrs fenomeen..... | 175 |
| 3.5.3.De paradox van de kennis..... | 176 |
| 4. Bohms impliciete orde..... | 179 |
| 4.1.Inleiding..... | 179 |
| 4.2.De causale interpretatie..... | 179 |
| 4.3.De impliciete orde..... | 181 |
| 4.4.Interne en externe beschrijvingen..... | 182 |
| 4.5.Interne en externe relaties..... | 184 |
| 4.6.Actieve informatie..... | 184 |
| 4.7.Kennis..... | 186 |
| 5.Complementariteit en taal..... | 188 |
| 5.1.Complementariteit en fragmentatie..... | 188 |
| 5.2.Linguïstische complementariteit..... | 188 |
| 5.3.Vertaling..... | 190 |
| 5.4.Interne en externe beschrijvingen..... | 190 |
| DEEL 3. BESLUIT EN TOEPASSINGEN..... | 192 |
| 6. Besluiten..... | 193 |
| 6.1.Externe en interne beschrijvingen..... | 193 |
| 6.2.Complementariteit..... | 194 |
| 6.3.Ontologische complementariteit..... | 197 |
| 6.4.Relatie epistemologie/ontologie..... | 199 |
| 7.Toepassingen..... | 200 |
| 8. Tot slot..... | 204 |
| Literatuurlijst..... | 205 |

INLEIDING

Dit onderzoek is begonnen met de verwondering rond de problematiek van ‘tijd’ en meer bepaald de dubbelzinnigheid ervan, namelijk enerzijds onze beleving van de tijd en anderzijds de manier waarop tijd in wetenschappelijke theorieën wordt beschreven. Dezelfde natuurkundige die tijd als een omkeerbare grootheid behandelt, heeft als mens te maken met een existentiële tijd en ook hij moet toegeven dat hij ondanks de reversibele wetten van de fysica¹ niet kan teruggaan in de tijd. Het lijkt dan alsof er twee realiteiten zijn, de existentiële en de natuurkundige. Vermits ik me daarmee niet kon verzoenen, kon ik niets anders dan de ‘vooronderstellingen’ zelf te onderzoeken die ervoor zorgen dat we zo’n tweeledige visie op de wereld hebben. Daarmee belanden we op kennistheoretisch terrein. Mijn voorlopige conclusie was dat de ‘object-subject-splitsing’ zelf de oorsprong is van de paradox van de tijd. De oplossing bestaat er dan uit een ‘complementaire visie’ te hanteren waarin object en subject terug verenigd zijn en waardoor we bijgevolg kunnen verklaren hoe tijd zelf een complementair gegeven is.

De problematiek van tijd was echter maar één voorbeeld van een dieperliggend probleem, dat Whitehead de ‘bifurcation of nature’ noemt: de opsplitsing van de wereld in een wereld van het gekende en een wereld van het beleefde.

“What I am essentially protesting against is the bifurcation of nature into two systems of reality, which in so far as they are real, are real in different senses. One reality would be the entities such as electrons which are the study of speculative physics. This would be the reality which is there for knowledge; although on this theory it is never known. For what is known is the other sort of reality, which is the byplay of the mind. Thus there would be two natures, one is the conjecture and the other is the dream.

Another way of phrasing this theory which I am arguing against is to bifurcate nature into two divisions, namely into the nature apprehended in awareness and the nature

¹ Hoewel er door verschillende natuurkundigen, bijvoorbeeld Prigogine gezocht wordt naar manier om ook in de natuurkunde een onomkeerbaar tijdsconcept te introduceren.

which is the cause of awareness. The nature which is the fact apprehended in awareness holds within it the greenness of the trees, the song of the birds, the warmth of the sun, the hardness of the chairs, and the feel of the velvet. The nature which is the cause of awareness is the conjectured system of molecules and electrons which so affects the mind as to produce the awareness of apparent nature, the causal nature being influent and the apparent nature being effluent.” (Whitehead, 1971a, blz. 30-31)

De opdeling van de wereld in verschillende werkelijkheden was het gevolg van een historische ontwikkeling, een trend in het menselijk denken. Deze trend werd door Descartes omgezet in een nieuwe filosofische methode, waarbij een duidelijk onderscheid werd gemaakt tussen de materiële wereld en de geestelijke wereld, tussen object en subject. De wetenschappelijke vooruitgang is voor een groot deel te danken aan deze splitsing, waarbij de natuur kon worden onderzocht zonder belemmering van religieuze of andere vooroordelen, politieke aspiraties of menselijke subjectiviteit.

Naast de fragmentatie tussen de wereld van de kennis en de wereld van de beleving, is er ook binnen de wetenschappen zelf en binnen de culturele wereld steeds meer fragmentering:

“Onze complexe en snel evoluerende wereld is sterk gefragmenteerd op levensbeschouwelijk, sociaal, politiek, cultureel en wetenschappelijk vlak. Van een culturele eenheid is weinig of geen sprake meer. We hebben te maken met vele culturen, subculturen en cultuurfragmenten. De differentiërende trend in de wetenschap zet zich onverminderd door. De kloof tussen specialisten en leken groeit verder en zelfs specialisten zijn niet meer in staat hun discipline te overzien. De snelle veranderingen en de grootschalige structuren leiden tot een toenemende vervreemding ten opzichte van de moderne wereld. Er zijn op korte tijd zoveel wijzigingen gebeurd dat we onszelf niet meer in de wereld herkennen. Het overzicht gaat verloren en we worden onzeker. “ (Van Belle en Van der Veken, 1994, blz. 12)

Binnen de problematiek van de fragmentatie ben ik vooral geïnteresseerd in een integratie op epistemologisch gebied. Wat immers zo frustrerend is aan de opsplitsing van de wereld in deelwerelden is dat ze onderling niet coherent zijn. De problematiek van de tijd is daar een voorbeeld van. Wanneer we tijd wetenschappelijk beschouwen dan wordt de pijl van de tijd onverklaarbaar. Prigogine noemt dit de ‘paradox van de tijd’: “hoe kan de pijl van de tijd tevoorschijn komen uit een wereld waaraan de fysica de eigenschap toeschrijft van symmetrie in de tijd.” (Prigogine, 1996, blz. 9) Dit voorbeeld is een toepassing van wat William James

het ‘dilemma van het determinisme’ noemde. (James in Prigogine, 1996, blz. 9): is de toekomst een vaststaand gegeven omdat elke gebeurtenis vanuit het wetenschappelijk determinisme voorspelbaar is, of wordt de toekomst voortdurend geconstrueerd? Vanuit de quantummechanica zijn er nog meer incoherenties: hoe verklaren we de complementariteit van het licht? Hoe beschrijven we quantumprocessen zonder de onduidelijke assumptie zoals ‘instorting van de golf functie’ te gebruiken? Hoe verklaren we nonlocaliteit? Hoe moeten we de ontologische realiteit van een quantumsysteem begrijpen? Met andere woorden: hoe brengen we de wetenschappelijke vaststellingen uit de moderne wetenschap in overeenstemming met onze beleving van de wereld?

De vruchtbare ideeën van de zeventiende eeuw, met name de subject/object-dichotomie van Descartes hebben hun werk gedaan, maar nu belemmeren hun paradoxen ons denken. Susanne Langer stelt dat we geen nieuwe oplossing van het geest/lichaam-probleem nodig hebben of een nieuwe visie op de subject/object-relatie. Volgens haar hoeven we alleen maar te ontkennen dat dergelijke onderscheidingen bestaan, om vervolgens een op een nieuwe modaliteit gebaseerde nieuwe verzameling wetenschappelijke vragen op te stellen. (Langer in Berman, 1986, blz. 173-174). De kernvraag daarbij is hoe de wereld van de kennis samenhangt met de wereld van het zijn.

Geïnspireerd door Bohrs notie van complementariteit en vertrekkend van de impliciete vooronderstelling dat de onderscheidingen tussen object en subject, tussen kennen en zijn hun vruchtbare rol hebben uitgespeeld en nu terug geïntegreerd kunnen worden in een nieuwe eenheid, zal ik nagaan hoe we de fragmentatie tussen object en subject kunnen overstijgen en tegelijk de fragmentatie en de paradoxen binnen de wetenschappen kunnen ‘herdefiniëren’.

Het begrip complementariteit werd al gehanteerd door Bergson in 1907 om aan te duiden dat een geheel tegelijk bestaat en niet bestaat uit delen, maar tegenwoordig wordt het begrip vooral verbonden met Bohr, die het concept ontwikkelde om de golf-deeltjes-dualiteit te verklaren. Bohr zag complementariteit ook als een meer algemene benadering om de natuur te beschrijven. Hij gaat ervan uit dat de natuur op een complementaire manier moet worden beschreven, dat wil zeggen dat we in die beschrijving ‘complementaire concepten’ gebruiken. Deze concepten zijn ‘complementair’ omdat ze :

- verschillend zijn van betekenis of verschillende eigenschappen prediceren;
- te samen een totale beschrijving of representatie van een ding vormen en

- wederzijds uitsluitend of incompatibel zijn in logische of empirische zin.

Concreter betekent dit dat je om iets te kennen twee complementaire beschrijvingen moet geven. Enerzijds moet je een systeem observeren (op tijdstip t vertoont het systeem eigenschap q). Je kan je dan voorstellen dat wat gemeten wordt onafhankelijk is van het meetinstrument, maar uit de quantummechanica blijkt dat het effect van de observatie niet nauwkeuriger kan worden bepaald dan het onzekerheidsprincipe toelaat. Anderzijds moet je het effect van het ene systeem op het andere bepalen, dit is de causale beschrijving (p veroorzaakt q). De causale beschrijving vereist dat de twee systemen een gesloten geheel vormen. (geen interactie) Willen we de toestand van een systeem dus definiëren dan vereist dit dat er geen interactie is, maar willen we observeren dan is er noodzakelijk interactie. De twee beschrijvingswijzen sluiten elkaar dus uit, maar we hebben ze wel allebei nodig om de realiteit te beschrijven. Bohr concludeert hieruit dat de verschillende beschrijvingen niet naar eenzelfde object verwijzen, maar naar complementaire fenomenen, die enkel te samen een éénduidige beschrijving kunnen geven van de aard van objecten die aan de fenomenen ten grondslag liggen. Wat meestal werd begrepen als een probleem betreffende de aard van de realiteit (zijn elektronen partikels of deeltjes) moet nu begrepen worden als een probleem in het gebruik van concepten om bepaalde aspecten van de ervaring te beschrijven.

Met Bohr's concept als uitgangspunt zal ik nu complementariteit in ruimer perspectief formuleren. In het eerste deel formuleer ik de uitgangspunten over deze complementariteit. Na een aantal algemene uitgangspunten in hoofdstuk 1, spits ik me in het tweede hoofdstuk toe op kennis en formuleer hierover uitgangspunten, me baserend op de theorie uit hoofdstuk 1. Het tweede deel is een beschrijving van verschillende wetenschappelijke theorieën: systeemtheorie, Prigogines dissipatieve structuren, Bohrs complementariteit, Bohms impliciete orde en ten slotte complementariteit van taal. Er is altijd eerst een beschrijvend gedeelte waarna ik bij elke theorie naga in hoever mijn uitgangspunten erin kunnen worden toegepast of ermee verschillen. Het laatste deel ten slotte geeft terug de uitgangspunten, maar nu aangevuld met de inzichten uit het overzicht van de wetenschap. Hierin zal ook mijn centrale stelling naar voor komen. Kort komt deze erop neer dat de manier om de wereld te beschrijven en de epistemologische vooronderstelling om object en subject als gescheiden entiteiten te beschouwen (subject/object splitsing) een verandering teweeg brengt in de interne relatie tussen subject en object, waardoor de kennisinhoud zelf verandert. De kennisinhoud

wordt dus bepaald door het kennisproces en omgekeerd. Hoe wij de wereld kennen (epistemologie) en hoe de wereld en wijzelf zijn (ontologie) zijn nauw verbonden.

Vanuit mijn frustratie met de versplintering van de wereld is het duidelijk waarom ik interdisciplinair wil werken. Het is echter niet zo vanzelfsprekend om als filosoof te schrijven over wetenschappelijke theorieën. Veel filosofen zullen zich bij gebrek aan referentiekader of technische bagage concentreren op ‘interpretaties’ van wetenschappelijke theorieën. De stelling dat wetenschap zou bewezen hebben dat er een nauw verband is tussen het menselijk bewustzijn en de subatomaire wereld is echter een van de vele misverstanden die het gevolg zijn van zo’n aanpak. Het lijkt me overigens niet onbelangrijk om bijvoorbeeld in te zien dat het quantumbegrip werd ingevoerd omdat anders een wiskundige formule niet meer klopte. Wie dus de interpretaties van quantummechanica wil begrijpen, moet m.i. enig begrip hebben van de wiskundige basis ervan, wil men begrijpen ‘waarover’ de interpretatie überhaupt gaat.

Ik heb dus geprobeerd om de natuurkundige theorieën zoveel mogelijk in hun oorspronkelijke vorm te beschrijven, zij het op een eenvoudige manier. Ongetwijfeld zullen er hierbij schoonheidsfoutjes opduiken omwille van mijn gebrek aan voorkennis. Toch hoop ik zo getrouw mogelijk de wiskundige en fysische feiten te hebben weergegeven, zonder te vervallen in metafysische interpretaties.

Dit werk is, ondanks de uitweidingen over wetenschappelijke theorieën volledig filosofisch. De wetenschappelijke theorieën zijn voor mij data om over te spreken. In die zin is het dus ‘meta-fysica’. Een natuurkundige die zich afvraagt of nu de Riemaaniaanse of de Euclidische meetkunde het meest geschikt is om de werkelijkheid te beschrijven, is duidelijk met natuurkunde bezig. Op dezelfde manier gebruik ik natuurkundige theorieën om een filosofische theorie te toetsen over de samenhang tussen kennen en zijn.

Wegens tijdgebrek heb ik heel wat materiaal niet kunnen verwerken. De kennistheorie van Polanyi was bijvoorbeeld interessant geweest om dieper op in te gaan evenals Batesons theorieën, die nu maar zijdelings aan bod komen. Het zal de lezer overigens wel opvallen dat ik filosofische theorieën vaak gebruik als inspiratiebron om mijn eigen denkbeelden helder te krijgen. Ik heb dan steeds geprobeerd om een duidelijk onderscheid te maken tussen de theorie van een bepaalde filosoof en de herinterpretatie van die denkbeelden binnen mijn eigen theorie. Ten slotte heb ik vanuit mijn ambitie om te komen tot een totaaloverzicht en

een betere integratie van verschillende werkelijkheden vooral in de breedte gewerkt. Dat betekent ook dat veel concepten moeten worden opgevat in een ruime betekenis. Ook mijn aanpak is dus onderhevig aan ‘complementariteit’: wie vooral samenhang en integratie wil vinden, moet abstractie maken van de details.

DEEL 1. UITGANGSPUNTEN

1. Complementaire beschrijvingen

1.1. *Inleiding*

In de natuur zien we zowel stabiliteit als verandering. In de geschiedenis van de filosofie vinden we steeds weer filosofen die het ene tot het andere willen herleiden. Zo is voor Heracleitos uiteindelijk alles veranderlijk, terwijl voor Parmenides alles hetzelfde blijft. Het is blijkbaar zeer moeilijk zich een werkelijkheid voor te stellen die beide tegelijk is: veranderlijk én stabiel.

Met deze vraag in het achterhoofd, kunnen we wel vaststellen dat we de werkelijkheid op twee manieren kunnen beschrijven. De ene beschrijving (in termen van externe relaties²) gaat uit van stabiliteit, de andere (in termen van interne relaties) van verandering. In de eerste vertrekken we van welbepaalde entiteiten met vooraf gegeven eigenschappen. In de tweede vertrekken we van relaties en structuurgegevens en vinden we eigenschappen en entiteiten enkel als gevolg van die relaties. Ik zal aantonen dat deze twee beschrijvingswijzen ‘complementair’ zijn, dat wil zeggen dat we ze beide nodig hebben om de realiteit te beschrijven, hoewel ze wederzijds incompatibel zijn.

Tot slot zal ik onderzoeken hoe de ‘complementaire beschrijving’ van de realiteit samenhangt met de realiteit zelf. Hier zal blijken dat epistemologie en ontologie nauw samenhangen. Dat wil zeggen dat de werkelijkheid zelf complementair is. We kunnen dan stellen dat de interne relatie die we gebruiken om iets intern te beschrijven in werkelijkheid bestaat, evenals de externe relatie uit de externe beschrijving. De wisselwerking tussen deze twee relaties zal een inzicht geven in evolutie.

² Mijn onderscheid tussen externe en interne relaties mag niet verward worden met het onderscheid dat in epistemologie wordt gemaakt tussen externalisme en internalisme, zoals verder uit mijn definitie zal blijken.

1.2. De externe beschrijving

1.2.1. Definitie

Wie de werkelijkheid beschrijft in termen van externe relaties (voortaan ook kortweg ‘externe beschrijving’ genoemd) gaat ervan uit dat bepaalde entiteiten met welomschreven eigenschappen in interactie kunnen treden met elkaar. De interactie of de relatie beïnvloedt de essentie of de eigenschappen van deze entiteiten niet. De nadruk ligt op stabiliteit van de dingen die met elkaar in interactie zijn. De wereld bestaat uit stabiele entiteiten die een relatie met elkaar kunnen hebben, maar deze relatie is ‘extern’ ten opzichte van de entiteiten. Zo zijn bijvoorbeeld twee auto’s afzonderlijke entiteiten, met welbepaalde eigenschappen. Een interactie tussen de twee, laten we zeggen een botsing tussen mijn auto en die van een tegenligger, kan beide wagens misschien tot wrakken herleiden. Toch doet die interactie niets af aan het feit dat mijn wagen misschien een tweedehandse Mazda was en die van de tegenligger een dure Mercedes. Deze eigenschappen zullen we ook nog steeds terugvinden in de wrakken. De essentie van de wagens blijft dus als het ware ongewijzigd.

Kenmerkend voor de externe beschrijving is dus dat we uitgaan van een onveranderlijk substraat, een substantie. Verandering is verklaarbaar omdat we nog steeds eenzelfde substantie terugvinden. Het zijn enkel de accidentele eigenschappen die veranderen: A wordt A’ met de substantie als onveranderlijke basis.

$$A' = \text{functie}(S, A)$$

1.2.2. Nadruk op het ‘ding’ als eenheid

De beschrijving in termen van ‘dingen met eigenschappen’ is voor een groot deel schatplichtig aan het substantiebegrip van Aristoteles. Daarnaast is deze beschrijving een gevolg van ons taalgebruik in subject-predicaatstructuren. Hierdoor werd de structuur van onze taal in termen van subjecten en predicaten geprojecteerd op een realiteit bestaande uit ‘dingen’ met eigenschappen.

1.2.2.1. Het substantieconcept

Aristoteles’ substantiebegrip heeft voor een aantal misverstanden gezorgd. Hij definieerde de substantie als een zelfstandigheid, waarvan de andere predikaten slechts verdere bepalingen, bijkomstigheden zijn. De substantie is wat in zichzelf bestaat, de accidenten wat enkel door

en in de substantie bestaat. Er ontstond echter de opvatting dat de substantie als het ware onder de accidenten verborgen lag. Haalde men de accidenten (kleur, gewicht, afmeting, enz.) weg, dan zou de substantie tevoorschijn komen en alleen overblijven. De substantie komt echter slechts voor in samenhang met de accidenten. Ze kunnen er wel van onderscheiden worden, maar niet gescheiden. Wit of bruin als zodanig bestaan niet, evenmin als een kleurloos paard. Dit misverstand leidt b.v. tot een absoluut substantiebegrip zoals dat onder andere door Spinoza wordt geformuleerd. Het op zichzelf bestaan van de substantie wordt door hem als een absoluut bestaan gezien.

Onder meer Cassirer benadrukt dat Aristoteles' metafysica de relatiecategorie in een afhankelijke en ondergeschikte positie dwingt:

“Only in a fixed thing-like substratum, which must first be given, can the logical and grammatical varieties of being in general find their ground and real application. Quantity and quality, space and time determinations, do not exist in and for themselves. (...) Relation is not independent of the concept of real being; it can only add supplementary and external modifications to the latter, such as do not affect its real “nature”. (...) relations or connections, as a rule, are considered among the “non-essential” properties of a concept, and thus as capable of being left out of its definition without fallacy.” (Cassirer, 1953, blz. 8)

Deze zienswijze ligt ook aan de basis van het wetenschappelijk concept van de materie. Men dacht de uiteindelijke bouwstenen van de natuur te vinden in zeer kleine deeltjes materie, de atomen. Ondertussen weet men dat atomen verder deelbaar zijn en dat materie uiteindelijk kan overgaan in energie.

Door de realiteit op te vatten als een geheel van materiedeeltjes, die op zichzelf bestaan, kan men dus enkel ‘externe relaties’ postuleren. Dit betekent dat de dingen eerst zijn wat ze zijn onafhankelijk van elkaar en daarna in relatie treden met elkaar. Deze relatie is dan extern t.o.v. de essenties van de dingen, ze is niet constitutief voor hen. Ayer drukt dit uit als volgt:

Elk ding bestaat dan op zichzelf in de zin dat het mogelijk is een beschrijving ervan te geven, die in zoverre volledig is dat niet één van die eigenschappen niet aan de lijst zou kunnen worden toegevoegd en ook zodanig dat men nooit op een relationele eigenschap stuit, waarvan het bezit essentieel is voor de identiteit van het betreffende ding. (Ayer, 1986, blz. 21)

Het extern relatiebegrip gaat dus samen met een substantiebegrip als een soort onderliggende entiteit die we vinden door de niet essentiële eigenschappen, relaties te verwijderen. Dit materieel substratum is dan een onafhankelijk iets, een ‘ding’ dat allerlei avonturen kan meemaken, datgene dat aan de basis ligt van verandering, maar desondanks zelf nooit verandert.

Het substantieconcept is echter in de eerste plaats een “gezichtspunt” voor het ordenen en klasseren van fenomenen. Voor Kant is de substantie een categorie en dus een van de condities waardoor de dingen zich in onze ervaring kunnen manifesteren. Enkel door fenomenen te zien als accidenten van een substantie in de tijd kunnen we waarnemen. De categorie substantie dient dus voor de classificatie en identificatie van afzonderlijke ‘dingen’. De tendens om te zoeken naar elementaire bouwstenen, naar substanties en de externe beschrijving is dus eerder een gevolg van de manier waarop we de werkelijkheid kunnen kennen en klasseren. Met Aristoteles’ substantiebegrip is de idee ontstaan dat er ook zo’n dingen of substanties bestaan, terwijl het eigenlijk enkel een wijze van beschrijving is.

1.2.2.2. De subject-predicaatstructuur

De vraag of taal ons denken beïnvloedt werd uitvoerig bestudeerd door Benjamin Lee Whorf. (Whorf, 1971, blz. vi)) Zijn twee belangrijkste hypothesen zijn de volgende:

- Alle hogere denkniveaus zijn afhankelijk van taal
- De structuur van een taal die men gebruikt beïnvloedt de manier waarop men de omgeving begrijpt. Het beeld van het universum verschilt van taal tot taal.

Whorf baseert zijn vaststellingen op een grondige vergelijking van de taal van Hopi indianen met het Engels. Zo zegt men bijvoorbeeld in het Engels. “the light flashed”. Er is dan blijkbaar iets dat opflitst: licht is het subject, flits is het predicaat. Een Hopi indiaan zegt: “Reh-pi”- “flash”: hij gebruikt slechts één woord voor het geheel. Er is geen subject, geen object, geen tijdslelement.

We lezen dus voortdurend in de natuur spookachtige entiteiten die flitsen of andere mirakels vervullen. De vraag is of we die entiteiten verzinnen omdat onze werkwoorden substantieven vooraf vereisen. (Whorf, 1971, blz. viii) Zo demonstreert Poincaré in een van zijn essays hoe de term ‘hitte’ ertoe leidde dat natuurkundigen zochten naar een substantie ‘hitte’. We weten nu dat hitte geen substantie is maar een manifestatie van energie. (Poincaré geciteerd in Korzybski, 1973, blz. 85)

Whorf toont aan dat de Engelse zinnen ‘I push his head back’ en ‘I drop it in water and it floats’ niet op elkaar lijken. Maar in Shawnee zijn de twee zinnen zeer vergelijkbaar. Hieruit blijkt dat de analyse van de natuur en classificatie van gebeurtenissen in gelijken of als behorend tot dezelfde categorie (logica) bepaald wordt door de grammatica. In plaats van te stellen dat zinnen verschillen omdat ze spreken over verschillende feiten, stelt Whorf dat feiten verschillend zijn voor sprekers omdat zij vanuit hun taalachtergrond een verschillende formulering van de feiten hebben. (Whorf, 1971, 235) Verder stelt hij:

“It is the grammatical background of our mother tongue, which includes not only our way of constructing propositions but the way we dissect nature and break up the flux of experience into objects and entities to construct propositions about (...) We cut up and organize the spread and flow of events as we do, largely because, through our mother tongue, we are parties to an agreement to do so, not because nature itself is segmented in exactly that way for all to see. Languages differ not only in how they build their sentences but also in how they break down nature to secure the elements to put in those sentences. (...) Thus English and similar tongues lead us to think of the universe as a collection of rather distinct objects and events corresponding to words. (Whorf, 1971, blz. 239-240)

Een belangrijke vaststelling is dus dat taalstructuren geprojecteerd worden in ons denken en ons zicht op de werkelijkheid bepalen. In de Indo-Europese talen komt steeds een bepaald type zin naar voren, telkens bestaande uit een substantief en een werkwoord. Deze structuur leidt tot het denken in termen van subject en predicaat, actor en actie, objecten en hun attributen, kwantiteiten en operatoren. Overeenkomstig de grammatica, ging men ervan uit dat een van deze klassen of entiteiten op zichzelf kunnen bestaan maar dat de klasse van werkwoorden niet kan bestaan zonder een entiteit van de andere klasse, de klasse van de ‘dingen’. Indiaanse talen daarentegen hebben een grammatica, waarin dit onderscheid tussen subjecten en predicaten niet bestaat. In Nootka bijvoorbeeld zijn zinnen zonder subject of object de enige soort zinnen. (Whorf, 1971, blz. 241-242)

Met het gebruik van bepaalde taalstructuren maken we dus onbewust volgende vooronderstellingen:

1. Er bestaan afzonderlijke dingen,
2. Bij elke actie hoort een actor, die de actie uitvoert.

Ook Bohm (1983) en Whitehead (1978) concluderen daarom dat de natuurlijke taal enkel geschikt is om de statische structuur van de realiteit te representeren. Volgens hen is de natuurlijke taal niet in staat om de realiteit te representeren.

De implicaties van Aristoteles' substantiebegrip en de vooronderstellingen die voortvloeien uit het gebruik van natuurlijke taal zijn abstracties, die niet geprojecteerd mogen worden op de werkelijkheid. Dit is een voorbeeld van wat Whitehead "Fallacy of Misplaced Concreteness" noemt of de verwarring van het abstracte met het concrete:

"When we perceive any attribute, we therefore conclude that some existing thing or substance to which it may be attributed is necessarily present." (Whitehead, geciteerd in Leclerc I., 1986, blz. 27)

Whitehead verwees concreet naar de gewoonte van wetenschappers uit de zeventiende eeuw tot de wetenschappers van vandaag om te stellen dat er in werkelijkheid stukjes materie bestaan die zich op een bepaald punt in ruimte en tijd bevinden ("lumps of matter with simple location"). Maar, stelt hij verder:

"...among the primary elements of nature as apprehended in our immediate experience, there is no element whatever which possesses this character of simple location". (Whitehead, 1967a, blz. 58)

1.3. De interne beschrijving

1.3.1. Definitie

Een beschrijving in termen van interne relaties (of kortweg 'interne beschrijving') beschrijft relaties of structuren, waarin de entiteiten als afgeleiden vorm krijgen. De nadruk ligt op verandering. Een voorbeeld van Weiss (1969, blz. 41-42) uit de biologie kan dit verduidelijken. Vertrekken we van één homogene cel en vermeerderen we het aantal eenheden door celdeling of aggregatie. Aanvankelijk zullen alle leden van de groep egaal zijn en allen aan de oppervlakte liggen. Maar als hun aantal nog verder vermeerdert tot een kritiek aantal, dan verschijnt er een nieuwe situatie. Er zullen dan een aantal cellen in het midden liggen en een aantal cellen aan de rand. Daardoor is de equivalentie van de leden doorbroken: er is een 'binnengroep' en een 'buitengroep'. De middelste groep zal daardoor in het metabolisme een andere functie krijgen dan de groep aan de rand, die wel kan interageren

met de omgeving. Als dan de ‘binnengroep’ in interactie gaat met de ‘buitengroep’, zal er een derde groep ontstaan: een tussenniveau enz. In dit voorbeeld zien we duidelijk dat, hoewel alle leden van de groep oorspronkelijk gelijk waren, hun toekomstige functie zal afhangen van hun plaats in het geheel en kan ook alleen maar verklaard worden door te refereren naar het geheel. Wanneer bijvoorbeeld de groep verdeeld wordt in twee delen, worden leden die oorspronkelijk deel uitmaken van de binnengroep, nu deel van een buitengroep. Het geheel zal echter terug harmonieus optreden. (Weiss, 1969, blz. 41-42)

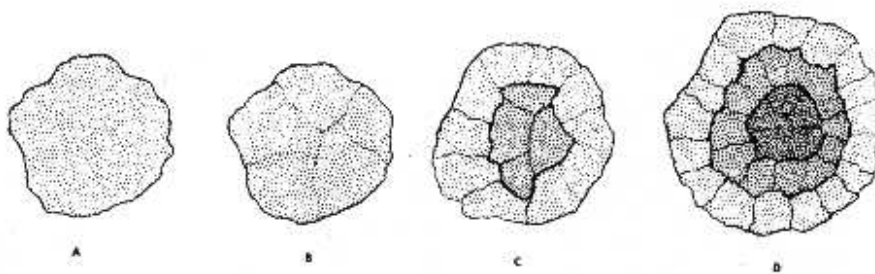


Figure 10 Diagram, illustrating the emergence of differentials in collectives of erstwhile equivalent units as a result of numerical increase. (From P. W., 1968.)

Om het onderscheid met externe beschrijving nog te verduidelijken, duiken we even in de psychologie. Watzlawick en anderen hebben duidelijk gemaakt dat we niet kunnen spreken van agressieve individuen, maar wel van agressieve systemen. De interactie van een man met zijn vrouw bepaalt bijvoorbeeld dat agressie het enige compatibel gedragspatroon is voor hem binnen de relatie (interne beschrijving). Veelal zien we echter dat deze man ook buiten de relatie agressief gedrag zal vertonen, alsof agressie een eigenschap van zijn persoon is (geworden) (externe beschrijving) en niet een gevolg van zijn positionering binnen de interactie met zijn vrouw.

Een laatste voorbeeld van een interne relatie vinden we in taal. De betekenis van een woord kan het gevolg zijn van de context waarin het voorkomt en deze betekenis kan totaal verschillen van de “externe-relatie”-betekenis. Dat is de betekenis die het woordenboek aan een woord geeft. Zo kunnen we bijvoorbeeld zeggen: ‘De Amazone is de long van de wereld’. Of we kunnen het hebben over ‘een woud van halve waarheden’. Deze vormen van beeldspraak verbinden een onderwerp met een beeld en genereren op die manier een andere betekenis. In deze voorbeelden is ‘long’ en ‘woud’ niet begrepen in de letterlijke betekenis, maar eerder als ‘beeld’.

Mc Neill geeft een ander voorbeeld uit taal. De zinnen ‘John is eager to please’ en ‘John is hard to please’ hebben een totaal verschillende betekenis, terwijl de zinnen afgezien van de adjectieven ‘eager’ en ‘hard’ praktisch identiek zijn. Uit dit voorbeeld blijkt dat de betekenis van de zin niet kan gevonden worden door eenvoudig de eigenschappen van de onderdelen, (de woorden) bij elkaar op te tellen. De structuur of de relatie van de woorden ten opzichte van elkaar bepaalt de betekenis ervan:

“Except for the adjectives *eager* and *hard*, *John is eager to please* and *John is hard to please* have the same words in the same order, but are basically different structurally. *John* in one case is the subject of a sentence and in the other the object of a verb – the difference is not trivial. The relations occupied by words are properties that emerge only in sentences, and cannot be inferred from any fact about the words themselves.”
(Mc Neill, 1969, blz. 47)

Waar de externe beschrijving vertrekt van stabiele eenheden om verandering te kunnen verklaren is de interne beschrijving datgene wat de totstandkoming van stabiele eenheden garandeert. Het is de genese van eenheden uit de veelheid. Dit vergt wel wat uitleg. Om objecten te kunnen aanduiden of onderscheiden moeten we expliciet of impliciet de organisatie ervan herkennen. Zo wordt een stoel gedefinieerd door de relaties waarvan sprake moet zijn, wil ik iets als stoel kunnen herkennen. Deze handeling is universeel in zoverre we ze voortdurend als fundamenteel cognitieve handeling verrichten. Maturana en Varela drukken het als volgt uit:

“Onderscheidingen: de handeling van het aanwijzen van een willekeurig wezen, object, ding of eenheid gaat gepaard met een *handeling van distinctie* waarin het aangewezen wordt onderscheiden van zijn achtergrond. Elke keer als we expliciet of impliciet naar iets verwijzen, specificeren we een *onderscheidingscriterium*, dat aangeeft waar we het over hebben en de eigenschappen specificeert die het als wezen, eenheid of object bezit. Dit is een heel alledaagse situatie en niet iets unieks: we kunnen ons er nooit van losmaken.

“Een eenheid (entiteit, object) wordt voortgebracht door een handeling van distinctie. Omgekeerd is het zo dat we, steeds als we in onze beschrijvingen naar een eenheid verwijzen, de handeling van het onderscheiden impliceren die deze bepaalt en mogelijk maakt”. (Maturana en Varela, 1989, blz. 30-31)

De interne beschrijving legt dus eerder de nadruk op de organisatie en structuur die stabiliteit garandeert en die ons überhaupt toestaat om ‘dingen’ te onderscheiden.

Voor de interne relatie geldt dus dat we uit de substanties op een bepaald tijdstip een netwerk van accidentele eigenschappen onderscheiden, die een nieuwe substantie vormen.

$$S_{t+1} = \text{functie}(S_t, A)$$

De substantie die dus gedefinieerd of gevonden wordt bij een interne beschrijving heeft veel gelijkenis met het ‘systeembegrip’. Onder een systeem verstaan we ‘a complex of interacting elements’ (Bertalanffy in Keuning, 1973, blz. 31) Deze elementen, die we onderscheiden om de relatie te definiëren staan dan voor de ‘vorige substanties’.

1.3.2. Nadruk op ‘relatie’ als eenheid

Waar het denken in termen van externe relaties een gevolg is van taalstructuren en metafysische vooronderstellingen, is het denken in termen van interne relatie een gevolg van de ontwikkelingen binnen de wetenschap zelf.

Cassirer toont in “Substance and Function” (1953) aan dat ‘substantie’ vervangen wordt door ‘functie’: het formuleren van relaties van invariantie tussen groepen van toestandsvariabelen. (het functiebegrip wordt in 1.5.2 nog uitvoeriger besproken) Als we bijvoorbeeld de dynamica bespreken, zijn we geïnteresseerd in de relatie tussen snelheid, tijd, afstand, versnelling van vallende lichamen. Maar er is geen symbool voor het ‘lichaam’ in de bewegingsvergelijkingen. Met Galileo en Newton werd wetenschap voor het eerst beperkt tot het kennen van de fenomenen zonder verklaringen in termen van hogere oorzaken. Een feit is dan begrepen, wanneer het gemeten is. Het “ding” veranderde dus van een som van eigenschappen naar een mathematisch systeem van waarden, die tot stand werden gebracht via een of andere vergelijkingsschaal.³ (Cassirer, 1953, blz. 139, 140, 149)

Over de evolutie van het wetenschappelijke substantiebegrip zeg hij het volgende:

“It must appear as a genuine impoverishment of reality that all existential qualities of the object are gradually stripped off; that the object loses not only its color, its taste, its smell, but gradually also its form and extension and shrinks to a mere “point.”

The “bit of wax,” which Descartes took as the basis of his well-known analysis of the

³ Alioto merkt echter op dat voor Galileo gewicht of massa nog steeds gezien wordt als de ‘eigenschap’ van een lichaam. (Alioto, 1987, blz. 201) Ook voor Newton is de massa de definiërende eigenschap van materie.

(Kedrov, 1977, blz. 191)

concept of the object, changed from a fixed, warm, bright, odorous thing into a mere geometrical figure of certain outlines and dimensions. (Cassirer, 1953, blz. 164)

Zo kan het atoom niet meer aanzien worden als een stukje materie, maar enkel als een intellectueel centrum voor de toepassing van mogelijke relaties:

“We analyze complex movements into elementary processes, for which latter we then introduce the atoms as hypothetical substrata. Thus we are not primarily concerned with separating out the ultimate elements of things, but with the establishment of certain simple, fundamental processes, from which the variety of processes can be deduced. Thus we understand how the atom, in its modern physical application, loses the aspect of materiality more and more; how it is resolved into vortex movements in the ether, which, however, in accordance with their character fulfill the conditions of indestructibility and physical indivisibility. The postulate of identity, which is of course inevitable, is here satisfied not by any kind of material substratum, but by permanent *forms of motion*.” (Cassirer, 1953, blz. 161)

Cassirer benadrukt dat in tegenstelling tot de logica gebaseerd op het substantieconcept, er nu een ander soort logica ontstaat: “the logic of the mathematical concept of function”. (Cassirer, 1953, blz. 21) Hierin worden welbepaalde eigenschappen vervangen door universele regels die ons toestaan om een totale serie van mogelijke determinaties in één oogopslag te onderzoeken. We gaan niet vanuit een serie $\alpha_1\beta_1, \alpha_2\beta_2, \alpha_3\beta_3 \dots$ rechtstreeks naar hun gemeenschappelijke bepaling α , maar vervangen de totaliteit van individuele leden α door een variabele uitdrukking x , de totaliteit van individuele leden β door een variabele uitdrukking y . Op deze manier verenigen we het gehele systeem in de uitdrukking axy (Cassirer, 1953, blz. 23 en blz. 196) Terwijl we ogenschijnlijk het atoom zelf onderzoeken in zijn verschillende bepalingen, plaatsen we tegelijkertijd de verschillende groepen van omstandigheden in een nieuw soort relatie tegenover elkaar. Het atoom functioneert enkel als een eenheidscentrum van een systeem van coördinaten.

“The particular property is only apparently connected with the atom as its absolute “bearer,” in order that the system of relations can be perfected. In truth, we are concerned not so much with relating the diverse series to the atom, as rather with *relating them reciprocally* to each other through the mediation of the concept of the atom. Here again appears the same intellectual process, that we previously met; the complicated relations between certain systems are not expressed by our comparing

each system individually with all the others, but by putting them in relation to one and the same identical term.” (Cassirer, 1953, blz. 208)

Het permanente karakter van het atoom is dus zijn ‘functie’, hoewel de *inhoud* kan veranderen (zo wordt het atoom van materie het atoom van elektriciteit, het elektron). Dit toont aan dat wat essentieel is in het concept niet bestaat uit materiële eigenschappen, maar dat het een formeel concept is, dat kan bestaan uit verschillende concrete inhouden naargelang onze ervaring. (Cassirer, 1953, blz. 211) “The “thing” is thus no longer something unknown, lying before us as a bare material, but is an expression of the form and manner of conceiving.” (Cassirer, 1953, blz. 303)

En Cassirer besluit dus:

“To the first naïve consideration, the atom appears as a fixed substantial kernel, from which different properties can be successively distinguished and separated out, while, conversely, from the standpoint of the critique of knowledge, precisely those “properties” and their mutual relations form the real empirical data, for which the concept of the atom is created. (Cassirer, 1953, blz. 210)

Ook Jammer stelt dat in de historische evolutie van de natuurkunde de attributen geleidelijk werden vervangen door relaties:

“In a sense, this replacement already applied to the transition from Aristotelian qualitative physics to Newtonian quantitative physics. If in the latter, “length”, “area”, and so on, or “durations” of physical processes could still be regarded as attributes of individual objects, the special theory of relativity, as is well known, changed their status to that of relations. For on the question: “What is the length of a certain object?” an unambiguous answer can be given only with reference to a special inertial system. Similarly, in Bohr’s relational theory, the question “What is the position (or momentum) of a certain particle?” presupposes, to be meaningful, the reference to a specified physical arrangement.” (Jammer, 1974, blz. 201)

Jammer merkt op dat de beschrijving van de toestand van een systeem bij Bohr niet meer beperkt is tot het partikel (of systeem van partikels) dat geobserveerd wordt. De beschrijving van de toestand van een systeem beschrijft daarentegen de relatie tussen het partikel (of partikels) en al de meetinstrumenten die werden gebruikt. Jammer vat dit samen als Bohr’s

‘relationeel concept van quantumtoestanden’. (Jammer, 1974, blz. 197-8) Een specifiek partikel kan dan nooit gezien worden als een onafhankelijke “seat of physically real attributes”. De notie van een quantummechanische toestand werd dus een “relationeel” concept. Tegelijk herleefde de notie van een “structuur” in de zin van een niet-analyseerbaar geheel. In die zin is Bohrs relationeel concept van een toestand een verwerping van het “dissectio naturae”principe van Bacon, dat het beter is de natuur op te splitsen dan te abstraheren (“that it is better to dissect than to abstract nature”). Dit principe werd een van de meest succesvolle leidende principes in de fysica en ook de atoomfysica dankt zijn vooruitgang hieraan. Toch is het juist in die atoomfysica dat Bohr tot zijn conclusie komt en een relationeel en holistisch concept van de toestand van een fysisch systeem formuleert. In Copenhagen in 1936 spreekt Bohr van “the futility of analyzing elementary processes by subdividing their course more closely.” (Jammer, 1974, blz. 199-200) Hij vergelijkt de afhankelijkheid t.o.v. de verschillende experimentele settings met de keuze van verschillende referentiesystemen in de theorie van de relativiteit. Er is echter een groot verschil met Einsteins relativiteitstheorie: de ontologische status van de objecten. Ondanks de nadruk op de relationele aspecten, blijft er bij Einstein een matrix van ontologisch reële en absolute verschijnselen. Voor Bohr daarentegen verwijst het quantum niet naar de inhoud of het object dat beschreven wordt.

“the aim of the complementarity principle is a definition of a ‘quantum description’, which does not mean ‘description of quanta’”. (Jammer, 1974, blz. 204)

Voor Bohr is het verkeerd om te denken dat natuurkunde als taak heeft om uit te vinden hoe de natuur *is*. Natuurkunde houdt zich enkel bezig met wat we kunnen vertellen over de natuur. De complementaire visie impliceert dat enkel het macroscopisch meetinstrument reëel is en het atoom een illusie. Dit was ook de mening van Heisenberg die in 1959 schrijft:

“In the experiments about atomic events we have to do with things and facts, with phenomena that are just as real as any phenomena in daily life. But the atoms or the elementary particles themselves are not as real; they form a world of potentialities or possibilities rather than one of things or facts.” (Heisenberg, geciteerd in Jammer, 1974, blz. 205)

Ook in de psychologie vinden we een tendens om meer nadruk te leggen op de relatie: zo stelt David Smail:

‘the ‘person’ is not a bounded entity separated off from the world in which he or she exists, but an interaction of body with world, consisting partially of both. People cannot control their beliefs and attitudes because people **are** their beliefs and attitudes. Believes and attitudes, as well as the nonverbal meaning-systems like dream and metaphor which order our experience, are **constituents** of our personhood: there is no further person who can somehow step outside this constituency, adjust it, and then step back in again.

What seems like our ‘inside’ – what psychologists so often refer to as the ‘self’, ‘inner space’, etc. – does not exist in any material sense. Nor does it ‘exist’ in any immaterial sense – it is, rather, a way of referring to our self-consciousness. (...) What makes a difference to the way we are, what changes us or permits us to change, is not the voluntary manipulation of inner resources but the influence of or access to outer resources and powers. Neither ‘self’ nor world can be influenced or changed by anything other than the exercise of power.’ (Smail, 1993, blz. 82-83))

Vincent Kenny (1998, blz. 6) argumenteert dat het zelf datgene is wat ontstaat wanneer een menselijk lichaam een bepaalde positie bekleedt in een gesloten netwerk van communicatie. Er is dus geen onafhankelijk zelf. Of in de woorden van Verden-Zoller:

“A self is a social dimension that is realized through a particular bodyhood as a particular node of intersection of conversations proper to a particular human community of mutual acceptance. A child, therefore, must acquire his or her self identity as a particular manner of being in his or her bodyhood through living in a human community of mutual acceptance.” (Verden-Zoller, geciteerd in Kenny, 1998, blz. 5)

Uit de evolutie in de moderne natuurkunde blijkt dus dat ‘dingen met eigenschappen’ nog slechts abstracties zijn. Het zijn de relaties die fundamenteeler zijn:

“The farther modern physics advances, the more obvious is the fact that the ultimate “things” of this science are ever farther removed, not only from the objects of perception, but from all “pictures” and “models” which we may construct in analogy to the objects of sense perception. In the end there is nothing left for the conception of scientific “things” but their determination through laws.” (Werkmeister, 1968, blz. 338)

Desondanks blijft het denken in termen van substanties en eigenschappen ook in de wetenschap hardnekkig voortbestaan. Zo merkt Alioto op dat voor Galileo gewicht of massa nog steeds gezien werd als de ‘eigenschap’ van een lichaam. (Alioto, 1987, blz. 201) Ook voor Newton is de massa de definiërende eigenschap van materie. (Kedrov, 1977, blz. 191) Zo werd ook ‘hitte’ aanvankelijk gezien als een materieel iets. James Black, een Schotse natuurkundige (1728-1799) stelde het voor als een soort onbeweegbare vloeistof die hij ‘calor’ noemde en die alle andere materiële lichamen kon doordringen. (Gamow, 1988, blz. 83)

Ook het woordgebruik zelf leent er zich toe om toch steeds ‘dingen’ te zien waar ze niet zijn:

“The connection between the use of common nouns and a metaphysics of things has an influence on basic scientific questions; for instance, the use of words such as ‘neutron’ and ‘electron’ in physics tends to suggest that the basic entities are thinglike. The connection between the metaphysics of things and the principles of classical science makes for difficulties in interpreting the new forms of laws in quantum mechanics.” (Harré, 1985 p 31)

Terwijl we dus enerzijds in de wetenschappelijke evolutie zien hoe substanties steeds meer verdrongen worden door relaties, blijven wetenschappers toch vaak spreken of denken in termen van dingen met eigenschappen.

1.4. Externe versus interne beschrijving

Noch de interne noch de externe beschrijving is voldoende om de werkelijkheid te beschrijven. Ze beschrijven elk de werkelijkheid vanuit een bepaald aspect. Vanuit onze taalstructuur voeren we bepaalde objecten in om de werkelijkheid te beschrijven. We gebruiken daarbij bepaalde criteria om uit te maken of we over dezelfde objecten spreken. Hierbij maken we gebruik van de externe beschrijving. We maken dan gebruik van substantiële en accidentele eigenschappen. De stabiliteit van de substantiële eigenschappen laten ons toe om accidentele verandering te begrijpen. Zo kunnen we zien hoe ik nog steeds dezelfde persoon ben alhoewel ik bijvoorbeeld mijn haar heb laten knippen of van job veranderd ben. De substantie zelf wordt hier echter gebruikt als ‘vooronderstelling’, als basis voor de verandering.

Om echter te spreken van afzonderlijke objecten, moeten we een notie hebben van stabiele ‘eenheden’ die een zekere duurzaamheid hebben in de tijd. Hiervoor hebben we de interne

beschrijving nodig. De relatie of de context is nodig om de eenheden te kunnen onderscheiden.

Ik wil dit illustreren aan de hand van een voorbeeld. Wanneer we in een bos wandelen zullen we meestal gebruik maken van bospaden om onze weg te vinden. We kunnen zo'n pad gemakkelijk herkennen. Het heeft meestal een bepaalde minimale breedte, de begroeiing is er aanzienlijk minder dan naast het bospad enz. We maken gebruik van de externe beschrijving om ons pad te vinden. Verder kunnen we ook zien hoe er misschien bepaalde veranderingen zijn ontstaan (een ontwortelde boom, die het pad onderbreekt bijvoorbeeld). Maar om überhaupt van een 'bospad' te kunnen spreken, hebben we een interne beschrijving nodig. We merken dan dat zo'n pad niets meer is dan het resultaat van 'relaties'. Waar de eerste mens bijvoorbeeld op een bepaalde manier door het bos liep en daarbij gras en andere begroeiing plattrapte, zal de volgende persoon gemakkelijheidshalve zijn spoor volgen. Zo ontstaat wat wij een pad noemen. Het blijft ook enkel voortbestaan mits mensen voortdurend dit spoor inlopen en onderhouden. De stabiliteit van het 'bospad' kan dan enkel verklaard worden door beroep te doen op dit relatienetwerk.

Vanuit de interne beschrijving kunnen we in de veelheid eenheden en stabiliteit herkennen, terwijl we vanuit de externe beschrijving deze eenheden gebruiken om verandering en veelheid te herkennen.

Nog anders gezegd: om onderscheid te kunnen maken tussen de veelheid hebben we een interne beschrijving nodig die bepaalt welke relationele eigenschappen essentieel zijn. Om vervolgens te verklaren hoe iets gelijk blijft onder veranderende omstandigheden of met veranderende eigenschappen, maken we gebruik van deze eenheid in de externe beschrijving.

1.5. Kenmerken van de beschrijvingen

1.5.1. Accidentele versus substantiële verandering

Bij de externe beschrijving vertrekken we vanuit een bepaalde entiteit met specifieke eigenschappen, die onveranderlijk zijn. Dit staat ons toe om een bepaald object te identificeren. Zo kan ik mezelf bijvoorbeeld identificeren als mens met bepaalde substantiële eigenschappen zoals mijn karakter, mijn lengte enz. Daarnaast zijn er accidentele eigenschappen zoals bijvoorbeeld het al dan niet gehuwd zijn, mijn beroep etc. Vanuit de externe beschrijving kunnen alleen de accidentele eigenschappen veranderen. Het 'iets' dat als basis van de verandering dient blijft stabiel. Waar Aristoteles er van uitging dat zo'n

substantieel iets ook werkelijk bestond, hebben we gezien in het overzicht rond de ontwikkeling van de wetenschap hoe dat ‘substantieel iets’ steeds verder ingeperkt werd. Toch kunnen we vanuit onze taal- en denkgewoonten niet anders dan uitgaan van een ‘onveranderlijk iets’ met welbepaalde eigenschappen. Vanuit de externe beschrijving kunnen we bijvoorbeeld verklaren hoe een mens ouder wordt en toch dezelfde blijft, maar we kunnen niet verklaren hoe de substanties zelf veranderen of ontstaan. (bijvoorbeeld hoe leven ontstaat).

Wanneer we gebruik maken van een interne beschrijving dan vertrekken we van de stabiliteit van relaties. De substanties zijn daar dan een afgeleide van. Verandering is hier eerder ‘substantiële verandering’ in de zin dat de relatie zelf de substantie bepaalt. Wat iets is, wordt bepaald door de relatie. Er bestaat niet iets dat onafhankelijk van de rest bepaalde substantiële eigenschappen heeft. (het bospad is er enkel dank zij de mensen die het voortdurend blijven inlopen) De substantiële eigenschappen zelf zijn een gevolg van het relationele verband. Vanuit de interne beschrijving kunnen we verklaren hoe de interne relatie een eenheid tot stand brengt, waardoor we een substantieel iets kunnen postuleren. We kunnen echter niet verklaren hoe accidentele verandering plaatsgrijpt, omdat we daarvoor terug moeten uitgaan van een vaste substantie met eigenschappen.

1.5.2. Logica van de interne versus externe beschrijving

1.5.2.1. *Propositie versus functie*

Oorspronkelijk was de wiskunde ook toegespitst op substanties : getallen waren concrete, reële en waarneembare grootheden. Vandaar dat het getal 0 en de negatieve getallen lange tijd ondenkbaar waren en geen plaats hadden in de werkelijkheid van de klassieke wereld. Volgens Spengler bleef het idee dat getallen de uitdrukkingvormen voor grootheden waren tweeduizend jaar heersen. (Spengler vermeld in Watzlawick e.a., 1970, blz. 19). In 1591 introduceerde Vieta letternotaties in plaats van getallen en lanceerde hiermee het begrip *variabele*. In tegenstelling tot een getal dat een waarneembare grootte aanduidt, hebben variabelen geen betekenis – zij ontleen hun betekenis aan hun onderlinge betrekkingen. Deze betrekking noemen we de functie. De notie ‘functie’ werd voor het eerst geïntroduceerd door Descartes. (Korzybski, 1973, blz. 134) Een functie definiëren we als volgt:

$$f(x) = y$$

y is een functie van x, dat wil zeggen dat we voor een gegeven x een waarde voor y kunnen determineren. x is dan de onafhankelijke variabele en y de afhankelijke. De termen

afhankelijk en onafhankelijk zijn echter niet absoluut, want de afhankelijkheid is wederzijds en we kunnen zowel x als y als onafhankelijke variabele kiezen. Een functie is eigenlijk een afspraak waarbij getallen uit een bepaalde verzameling worden verbonden of toegevoegd aan getallen uit een andere verzameling. Men kan bijvoorbeeld afspreken dat men op ieder uur van de dag (dit zijn dan de getallen uit de eerste verzameling) op een bepaalde plaats de barometerstand registreert (dat zijn de getallen uit de tweede verzameling). De eerste verzameling bestaat dan uit de gehele getallen van 0 tot 24 en de tweede verzameling bestaat uit alle reële getallen. De barometerstand y is dan een functie van de tijd (x). Omdat de barometerstand y niet gedurende de gehele dag gelijk hoeft te blijven, zal y ook verschillende getalwaarden kunnen voorstellen. Men noemt daarom ook y een *veranderlijke*. In dit voorbeeld is y ook de *afhankelijke veranderlijke* want op een gegeven tijdstip x wordt de getalwaarde van y door de barometer bepaald. Het functiebegrip stelt ons dus in staat om de *relatie zelf* voor te stellen.

Russel veralgemeent het functieconcept tot de propositionele functie:

“A propositional function is an expression containing one or more undetermined constituents, such that, when values are assigned to these constituents, the expression becomes a proposition.” (Russel, geciteerd in Cassirer, 1985, blz. 295)

Een belangrijke eigenschap van de propositionele functie is dat ze niet waar noch vals is, maar ambigu. Nemen we bijvoorbeeld de vergelijking: x was een Griek. Deze gelijkheid is enkel waar indien we welbepaalde waarden voor x invullen. Zo is bijvoorbeeld: ‘Aristoteles’ was een Griek’ een juiste propositie, terwijl ‘David Hume was een Griek’ een valse propositie is. Wanneer we de waarden voor x juist invullen krijgen we een propositie. De propositionele functie is dus als het ware een mal, waarin we gelijk welke inhoud kunnen gieten. Deze operatie noemen we ‘specialisatie’. (Reichenbach, 1947, blz. 86)

We kunnen nu een interne beschrijving voorstellen door een functie, terwijl een externe beschrijving vertaald kan worden in een propositie. Het is hierbij belangrijk het verband tussen de twee beschrijvingen voor ogen te houden. We kunnen een propositionele functie ‘invullen’ met de gepaste waarden voor de variabelen. Daarmee schakelen we over van een beschrijving in termen van interne relaties naar een beschrijving in termen van externe relaties. Zo kunnen we een klasse beschouwen van alle waarden die aan de functie voldoen. We moeten dan echter steeds voor ogen houden dat deze laatste beschrijving (in termen van

externe relaties) steeds een afleiding is van de beschrijving in termen van interne relaties. De externe beschrijving komt overeen met Russels extensionele definitie van klassen: het één voor één aanwijzen van leden en er een aggregaat van maken door ze simpelweg samen te voegen. De interne beschrijving komt overeen met Russels intentionele definitie van klassen, waarbij we een universeel kenmerk aanduiden waaraan alle leden van de klasse moeten voldoen. Denk bijvoorbeeld terug aan ons bospad. Vanuit de externe beschrijving kunnen we het bestaande pad in kaart brengen, door geografisch aan te geven waar het pad zich juist bevindt. Vanuit de interne beschrijving duiden we misschien hetzelfde pad aan, maar de manier van aanduiden is niet geografisch bepaald, maar vanuit de relatie: het pad is datgene wat voortdurend door mensen belopen wordt. Hoewel Russel oorspronkelijk de twee definities als equivalent beschouwt, blijkt toch volgens Cassirer (1985, blz. 294) dat de intentionele definitie prioritair is ten opzichte van de extentionele. Dit betekent dus dat een externe beschrijving steeds een afgeleide vorm is van de interne beschrijving.

Het essentiële verschil tussen de externe en de interne beschrijving is echter de notie 'existentie'. Denk weer aan het voorbeeld van het bospad. Bij de interne beschrijving vertrekken we enkel van relaties en is er in principe geen sprake van bestaande identiteiten, van bestaande dingen: het beschrijft juist de totstandkoming en het voortdurende voortbestaan van ons bospad. Bij de externe beschrijving vertrekken we juist van 'identiteiten'. Ons bospad is hier de geografische gegevenheid, waarvan we vertrekken. Dat dit onderscheid niet zonder belang is, blijkt wanneer we verder kijken naar het gebruik van 'gebonden variabelen' door middel van de \forall - en de \exists -operatoren. (Reichenbach, 1947, blz. 87-91) De 'specialisatie' is immers niet de enige manier om een propositionele functie om te zetten in een propositie of met andere woorden om over te schakelen van een interne naar een externe beschrijving. Wanneer we overgaan van de propositionele functie $f(x)$ naar

$$\forall x f(x) \quad (1)$$

dan krijgen we ook een propositie die waar of vals kan zijn. Als $f(x)$ staat voor 'x is blauw', dan is (1) vals. Staat $f(x)$ voor 'x is aanduidbaar', dan is (1) waar. De variabele x is een gebonden variabele; ze is gebonden door de 'voor alle'-operator.

Een tweede manier om variabelen te 'binden' is de existentiële operator. Hierbij gaan we over van de propositionele functie $f(x)$ naar

$$\exists x f(x) \quad (2)$$

Als $f(x)$ bijvoorbeeld betekent: ‘ x is blauw’ dan betekent (2): er bestaat een ding dat blauw is, en deze propositie is waar. Als $f(x)$ staat voor ‘ x is een eenhoorn’ dan is (2) vals. Ook hier is de variabele x gebonden, dit keer door de \exists -operator.

Reichenbach stelt dat wanneer een uitspraak waar is, ze kan vertaald worden in een uitspraak die zegt dat er in de wereld van de objecten iets bestaat dat aan de uitspraak voldoet. Als we bijvoorbeeld zeggen: ‘Peter is 2 meter lang’ dan bevat die uitspraak ook steeds een ‘existentie-uitspraak’, nl. dat er iemand bestaat die 2 meter lang is. Reichenbach voegt eraan toe dat, hoewel het existentieconcept nodig is, het niettemin zinledig is en niets toevoegt aan kennis:

“When we say of a given physical object that it exists, we have made a trivial statement, since all physical objects exist.” (Reichenbach, 1947, blz. 90).

Wat betreft het onderscheid tussen interne en externe beschrijving is het ‘existentie-concept’ echter wel fundamenteel. Immers, binnen een interne beschrijving is er geen sprake van ‘bestaande dingen’, enkel van relaties. Het gebruik van de operatoren ‘voor alle’ en ‘er is een’ bevat impliciet de ‘existentie-eis’ en alle uitspraken waarin deze operatoren voorkomen, zijn daarom uitspraken in termen van externe relaties.

In de overgang van propositionele functies naar proposities, door middel van specialisatie of door het gebruik van operatoren, wordt dus steeds de ‘existentie-eis’ impliciet toegevoegd. Hiermee schakelen we over van een interne naar een externe beschrijving.

1.5.2.2. Logische operatoren

We vragen ons nu af of er een \forall -operator kan worden omschreven zonder gebruik te maken van de existentie-eis en wat dit dan zou betekenen.

Laten we daarbij terug uitgaan van Russels onderscheid tussen de intentionele en de extentionele definitie. In het eerste geval omschrijven we een klasse door een universeel kenmerk aan te duiden waaraan alle leden van de klasse moeten voldoen. In het tweede geval wijzen we één voor één de leden van de klasse aan. Eerder heb ik al uiteengezet dat de intentionele definitie overeenkomt met een interne beschrijving en de extentionele met de externe beschrijving. De twee beschrijvingen zijn echter niet equivalent. Waar een intentionele definitie geen existentie-eis impliceert, doet een extentionele definitie dit wel. De \forall -operator kan echter zowel extentioneel als intentioneel begrepen worden. Dit brengt uiteraard een verwarring van de interne met de externe beschrijving met zich mee.

Laten we daarom de \forall -operator van de externe beschrijving interpreteren als de extentionele definitie en de \forall -operator van de interne beschrijving als de intentionele definitie. Een voorbeeld kan dit illustreren. Neem de uitspraak: alle Cretenzers liegen. Vanuit de extentionele definitie betekent deze uitspraak dat er x aantal Cretenzers bestaan en dat deze allen stuk voor stuk leugenaars zijn. Vanuit een intentionele definitie betekent het dat 'liegen' en 'Cretenzers-zijn' intern samenhangen; de \forall slaat in dit geval niet op het geheel van bestaande Cretenzers, maar moet worden opgevat als een algemeen universeelbegrip. (Vergelijk bijvoorbeeld met: 'alle cirkels zijn rond' betekent niet dat elke cirkel die ik in de werkelijkheid vind perfect rond is. Het betekent wel dat cirkel en rond intern samenhangen.)

Concreet betekent dit dat de externe \forall kan worden omgezet in een conjunctie, terwijl dat bij de interne \forall niet kan. Nog anders gezegd: als de \forall -operator wordt vertaald in een conjunctie, maken we de beschrijving extern.

Wat betreft de existentie-operator, kunnen we stellen dat we deze alleen kunnen gebruiken in een externe beschrijving. Wanneer we immers het bestaan van iets bevestigen maken we per definitie gebruik van een externe beschrijving.

1.5.2.3. Actieve versus passieve negatie.

Bij een interne relatie bestaan er geen substanties met eigenschappen. We kunnen dit ook anders stellen en zeggen dat 'mogelijke entiteiten' 'potentiële eigenschappen' hebben. Dit betekent dat zowel p als niet-p gelden. Indien we dus bij een interne beschrijving toch willen spreken over dingen met eigenschappen, dan is dit de basisassumptie: zowel p als niet-p. Dit blijkt ook uit de waarheidsfunctie van propositionele functie: ze zijn waar noch vals. Dit betekent dus ook dat de negatie van zo'n propositionele functie neerkomt op het ongeldig maken van de ambiguïteit, van de keuze zelf. De negatie van een interne beschrijving is dus een paradoxale uitdrukking.

Om dit te verduidelijken maken we gebruik van Kants onderscheid tussen 'passieve' en 'actieve' negatie. Hij geeft volgende voorbeelden: (Kant in Jon Elster, 1984, blz. 181)

- (1) De passieve negatie van beweging is rust, de actieve negatie van beweging is beweging in de tegengestelde richting.
- (2) De passieve negatie van weelde is armoede, de actieve negatie is financiële schuld.
- (3) De passieve negatie van plezier is onverschilligheid of een evenwicht (afwezigheid van plezier of onbehagen), de actieve negatie is onbehagen.

(4) De passieve negatie van een verplichting is een niet-verplichting en de actieve negatie is een verbod.

(5) De passieve negatie van verlangen is opnieuw onverschilligheid, de actieve negatie is afkeer.

Elster stelt dat de formele logica de passieve negatie gebruikt. In ons dagelijks taalgebruik wordt passieve en actieve negatie echter vaak verward. We denken vaak in termen van tegengestelden: leven-dood, dag-nacht; goed-slecht; lichaam-geest; golf-deeltje; object-subject. Wanneer we een bepaald idee of theorie willen verwerpen kunnen we ofwel de tegengestelde theorie verdedigen (actieve negatie) ofwel volledig buiten de tegenstelling gaan staan (noch de theorie, noch haar tegendeel verdedigen) (passieve negatie). In dit laatste geval is men echt autonoom, men staat als het ware buiten het paar van tegengestelden. Enkel vanuit dit onderscheid in negatie kunnen we vermijden om in de val van de splitsing van de wereld in tegengestelden te vallen (wie niet voor mij is, is tegen mij).

Bij de externe beschrijving interpreteren we daarom de negatie als een actieve negatie. Iets kan niet p zijn en het tegenovergestelde van p . Bij de interne relatie daarentegen geldt p en niet- p (zijnde het tegenovergestelde van p). De negatie bij de interne relatie is dus een passieve negatie, die ons in staat stelt om buiten de contradictie te staan.

Vergelijken we weer met ons bospad. Vanuit de externe beschrijving kunnen we zeggen of het pad recht of krom is, onderbroken of niet, lang of kort. Vanuit de interne beschrijving zijn deze eigenschappen echter voortdurend in ontwikkeling, naarmate mensen het pad op een zelfde manier blijven belopen is het pad recht of niet. Je kan alleen exact zeggen hoe het pad is als je in deze voortdurende wisselwerking (het belopen van het pad) een momentopname maakt. Op dit moment is het pad recht. Maar dan heb je er een externe beschrijving van gemaakt.

1.5.2.4. Interne en externe “predicaten”

Wanneer we spreken in subject-predicaattermen, gebruiken we per definitie een externe beschrijving. Onze gewoonte om te denken in termen van dingen en eigenschappen is echter zo ingeburgerd dat het moeilijk is om op een andere manier te denken. Ook bij een interne relatie, voorgesteld door een functie, hebben we de neiging om de zaken concreet te maken. We gebruiken een voorbeeld om een bepaald verband uit te drukken. Daarmee schakelen we over van een intern verband naar een externe relatie. We stellen ons een ding voor dat

bepaalde eigenschappen heeft tengevolge van een gepostuleerde relatie. Met de voorstelling van dit ding is echter de nadruk op de relatie als intern geheel, als bepalend verdwenen.

We kunnen dit oplossen door een onderscheid te maken tussen ‘interne’ en ‘externe predicaaten’. Hoewel het begrip ‘intern predicaat’ dus per definitie een contradictio in terminis is, maken onze taalgewoonten het noodzakelijk om te proberen de interne relatie te definiëren in subject-predicaatstructuren. Een ‘intern predicaat’ kunnen we dan definiëren als een *voorwaardelijk* predicaat, dat wil zeggen dat het predicaat enkel kan geprediceerd worden zolang de interne relatie geldig is. Een extern predicaat daarentegen is absoluut en onafhankelijk van de relatie. Een voorbeeld van een intern predicaat is dat van de ‘teruggetrokken man’. Hij is alleen maar ‘teruggetrokken’ zolang hij verweven zit in de relatie met de vrouw, die klaagt (waardoor hij zich terugtrekt). Hoe meer zij klaagt, hoe meer hij zich terugtrekt. Hoe meer hij zich terugtrekt, hoe meer zij klaagt. De man is dus niet echt teruggetrokken (extern predicaat) maar krijgt dit predicaat (intern) door de voortdurende wisselwerking met zijn vrouw. Ook de vrouw is niet echt een zeurkous. Een laatste voorbeeld vinden we als we ons afvragen of bepaalde gedragingen ‘cultureel’ zijn of ‘natuurlijk’: zijn het eigenschappen van de individuen of gevolgen van de ‘culturele relaties’.

Het gevaar is niet denkbeeldig dat ‘interne predicaaten’ een eigen leven gaan leiden. Denk maar aan heel de problematiek rond etikettering in de psychologie. Wie ooit als misdadiger, geestesgestoorde of wat dan ook werd bestempeld, zal moeilijk van dat etiket afgeraken.

1.5.3. Digitale versus analoge communicatie

Het onderscheid tussen digitale en analoge communicatie wordt duidelijk omschreven door Watzlawick (e.a., 1970, blz. 42 e.v.):

In de menselijke communicatie vinden we dit onderscheid tussen digitaal en analoog door de manier waarop objecten op verschillende wijze kunnen worden aangeduid: ofwel door middel van een afbeelding (analoog) ofwel door middel van een woord (digitaal). De betrekking tussen een naam en het genoemde object is willekeurig bij digitale afbeelding. Er is niets vijftigs aan het getal vijf. Bij analoge communicatie daarentegen is er wel een duidelijk verband. Het verschil wordt duidelijk wanneer we bedenken dat het onmogelijk is een vreemde taal te begrijpen, ook al luistert men nog zo lang naar nieuwsuitzendingen, terwijl er wel fundamentele informatie kan worden afgeleid uit het gadeslaan van gebarentaal en expressieve bewegingen, zelfs als die gebruikt worden door iemand van een totaal andere cultuur.

Watzlawick merkt op dat de mens het enige wezen is waarvan bekend is dat hij zowel analoge als digitale communicatievormen gebruikt.

“Mensen communiceren zowel digitaal als analoog. Digitale taal heeft een zeer complexe en uitzonderlijke logische syntaxis maar mist een toereikende semantiek op het gebied van de betrekkingen, terwijl analoge taal wel de semantiek, maar geen toereikende syntaxis bezit voor de ondubbelzinnige omschrijving van de aard van betrekkingen.” (Watzlawick e.a., 1970, blz. 42)

Verder kunnen we verwachten dat het inhoudsaspect waarschijnlijk digitaal wordt overgebracht, terwijl het betrekkingaspect overwegend analoog van karakter zal zijn.

Nog verschillen tussen analoge en digitale taal worden duidelijk wanneer we de vergelijking maken met de digitale en analoge uitdrukkingswijzen zoals die voorkomen in bijvoorbeeld computers. Zo is digitaal berichtmateriaal van een veel hogere graad van complexiteit, veelzijdigheid en abstractie dan analogisch materiaal. We ontdekken vooral dat analoge communicatie niets heeft dat vergelijkbaar is met de logische syntaxis van de digitale taal. Dit betekent dat er in een analoge taal geen equivalenten bestaan voor zulke fundamentele noties als ‘als-dan’, ‘of-of’ en vele andere, en dat het uitdrukken van abstracte begrippen moeilijk is, zometeen onmogelijk, net als bij een primitieve beeldtaal, waarin elk begrip alleen door een afbeelding kan worden voorgesteld. Bovendien delen analoge talen met analoge machines het gebrek aan een eenvoudige ontkenning, d.w.z. een uitdrukking voor ‘niet’. In analoge communicatie is er een merkwaardige dubbelzinnigheid: tranen van verdriet en van vreugde, de glimlach die medeleven of minachting overbrengt; stilzwijgen als tact of als onverschilligheid. De analoge communicatie heeft geen nuanceringen om aan te geven welke van twee tegenstrijdige betekenissen bedoeld wordt en verstrekt evenmin aanwijzingen omtrent het onderscheid tussen verleden, heden en toekomst. Dergelijke nuanceringen bestaan er wel in de digitale communicatie. Maar daarin ontbreekt dan weer een toereikend vocabulaire voor de omschrijving van de aard van betrekkingen.

Bij menselijke communicatie doet zich het probleem van de vertaling voor in beide richtingen. Niet alleen is vertaling van digitale in analoge communicatie onmogelijk zonder aanzienlijk verlies van informatie, maar het tegenovergesteld is ook buitengewoon moeilijk: het praten over betrekkingen vereist adequate vertaling van de analoge in de digitale communicatievorm. Zelfs waar vertaling adequaat lijkt te zijn, kan digitale communicatie

over betrekkingen weinig overtuigend blijven. Watzlawick (e.a., 1970, blz. 87) illustreert dit aan de hand van een Peanuts-cartoon. De conversatie gaat erin als volgt:

She: I think I have a very cute smile.

She: I've never heard you say I have a cute smile Schroeder... Do you think I have a cute smile?

He: Oh, Yes, I think you have the cutest smile of anyone since the world began.

She: Even when he says it, he doesn't say it!

Een interne beschrijving komt overeen met analoge communicatie, terwijl een externe beschrijving overeenkomt met digitale communicatie. Bij analoge communicatie is het immers de context, de betrekking die de inhoud bepaalt, terwijl digitale communicatie enkel inhouden weergeeft. Ook hier stelt zich het probleem van de vertaling van het analoge naar het digitale. Wij groeien immers op in een maatschappij waarin het digitale primeert op het analoge. Kijken we bijvoorbeeld naar dieren of kinderen. Zij zullen veel meer de analoge vorm gebruiken. Hun analoge berichten vormen een appel op een betrekking. Door mijn gedrag kan ik liefde, haat, strijd enz. als mogelijkheden noemen en voorstellen, maar de tegenpartij is degene die aan mijn voorstellen toekomstige positieve of negatieve geldigheid moet toekennen. Zo denken wij dat een kat tegen onze benen strijkt omdat ze daarmee wil aanduiden dat ze honger heeft. (digitale boodschap) Niets is minder waar, de kat creëert een interne relatie, een betrekking en zegt eigenlijk: bemoeder me (analoge boodschap). Zo weet al wie kinderen heeft dat ze voornamelijk analoog communiceren. Ze gedragen zich zodanig dat ze binnen de betrekking of de relatie krijgen wat ze nodig hebben. Ze zeggen niet dat ze ons nodig hebben, maar zoeken binnen de interne relatie die ze met ons hebben naar gedragsmatige uitingen, die bij ons de juiste respons teweeg brengen, zodat we hen geven wat ze nodig hebben. Ze merken bijvoorbeeld dat 'ziek zijn' aandacht genereert en zullen zich dan ziek 'voelen' om aandacht te verwerven. Het wordt pas problematisch als wij die analoge boodschappen inadequaaf vertalen naar digitale. Van het moment dat we immers het gedrag als een externe eigenschap beschouwen, zullen we ons erom bekommeren het kind te genezen van zijn steeds weerkerende kwalen. Hier blijkt weer dat de interne beschrijving primeert op de externe. Of nog anders: de externe eigenschappen moeten steeds weer worden begrepen vanuit de interne relatie, die eraan voorafging.

Vergelijken we het probleem met de omzetting van propositionele functies naar proposities, dan zien we hier de propositie ‘elk ziek kind krijgt aandacht’. Dit is een externe beschrijving en impliceert dat voor alle kinderen geldt: als ze ziek zijn, krijgen ze (verzorgende) aandacht. De achterliggende functie is echter: bepaalde gedragingen (x) genereren aandacht van volwassenen in een of andere vorm (y). Het is dan voor volwassenen erg belangrijk om hiervoor oog te hebben. Communiceert het kind ‘analoog’, dan maakt het enkel gebruik van de interne relatie om bij ons een bepaald gedrag uit te lokken (aandacht). In dat geval is het zeer waarschijnlijk dat het kind niet echt ziek is. Vatten we de boodschap op als een digitale boodschap, dan gaan we ervan uit dat het kind wel degelijk ziek is, het kind zegt dan niets over de betrekking, maar over de inhoud (het ziek zijn). Het is ook belangrijk in te zien dat de oorspronkelijke propositionele functie niet gelijk is qua inhoud en structuur met de uiteindelijke propositie. Het kind zal zijn gedrag en de intensiteit van zijn gedrag aanpassen naarmate zijn vroegere ervaringen. Heeft hij bijvoorbeeld ooit meegemaakt dat hij door een ziekte zeer veel aandacht kreeg, dan zal hij er misschien voor kiezen om in een gelijke mate en ‘intensiteit’ ziek te worden als hij nood heeft aan aandacht. De ouders daarentegen zullen hun mate van aandacht geven afstemmen op ‘objectieve’ en ‘externe’ maatstaven (wat zegt de dokter ervan, wat mankeert eraan enz). Met andere woorden: de ouders zullen wel aandacht geven voor het zieke kind, maar dit is niet de aandacht die het zocht. Waar de oorspronkelijke functie lineair is (een bepaalde mate van aandacht zoeken gaat gepaard met een bepaalde mate van aandacht krijgen), wordt de samenhang in de propositie uiteindelijk pathologisch: het kind zal steeds zieker en zieker moeten worden, omdat de respons nooit de juiste is.

1.5.4. Expliciete versus impliciete betekenis

Wanneer we de realiteit beschrijven in termen van externe relaties, dan gaan we er ook vanuit dat de inhoud de structuur bepaalt en niet omgekeerd. De betekenis van subjecten (substantieven) ligt dan vooraf vast en is onafhankelijk van de structuur waarin ze voorkomen.

Whorf stelt dat het een vergissing is om te denken dat woorden een “exacte betekenis” hebben:

“Reference of words is at the mercy of the sentences and grammatical patterns in which they occur.” (Whorf, 1971, blz. 259)

Het Engelse woord ‘few’ past zijn reikwijdte aan aan het belang of rariteit van de referentie: A few kings, battleships or diamonds zal misschien enkel drie of vier zijn, terwijl a ‘few peas,

raindrops, tea leaves dertig of veertig kan tellen. Dit geldt niet alleen voor woorden zoals groot of klein. Het woord 'Fido' als referentie tot een hond refereert naar een klasse met elastische grenzen. De grens van die klasse hangt immers af van de taal. In Hopi, een Amerikaans-Indiaanse taal van Arizona betekent het woord 'hond' ook huisdier of troeteldier. Een arend als huisdier is dus in deze taal een 'arend als hond'. In wetenschap betekent 'elektrisch' iets anders wanneer we het hebben over een elektrisch apparaat of een elektrisch expert. In het eerste wordt gerefereerd naar de elektrische stroom in het apparaat, maar in het tweede verwijst het niet naar de elektrische stroom in de expert. (Whorf, 1971, blz. 259-260) Whorf concludeert dat

“reference is the lesser part of meaning, patternment is the greater. (Whorf, 1971, blz. 261)

We kunnen dus onderscheid maken tussen de expliciete betekenis van een woord, dat is de definitie die we in een woordenboek vinden, en de impliciete betekenis, namelijk de betekenis die een woord krijgt door de context waarin het gebruikt wordt. Interne predikaten of eigenschappen in een interne relatie hebben altijd een impliciete betekenis, terwijl externe predikaten of eigenschappen in een externe relatie een expliciete betekenis krijgen. Ook hier is het weer belangrijk voor ogen te houden dat elke vertaling van een beschrijving in termen van interne relaties naar een beschrijving in termen van externe relaties implicaties heeft voor de betekenis van de predikaten. Het voorbeeld van het zieke kind kan dit weer illustreren. Het 'ziek zijn' heeft binnen de interne relatie een andere betekenis. Het kind is namelijk niet echt ziek, maar gedraagt zich zo om de juiste respons te krijgen van de ouder. Het kind heeft binnen de propositionele functie (geef om mij) die hij met zijn ouders heeft één bepaald gedrag uitgekozen (ziek zijn) om een gedrag uit te lokken dat zorg oplevert. Vertrekken we nu van de assumptie dat het kind inderdaad ziek is en een dokter nodig heeft, dan zullen we al vlug tot de vaststelling komen dat we een kleine hypochonder creëren.

1.5.5. Geheel als som van de delen versus holistisch geheel

De beschrijving in termen van externe relaties vertegenwoordigt het reductionistische standpunt dat het geheel de som is van de delen. Bij een beschrijving in termen van interne relaties hebben we echter te maken met een holistisch geheel in de zin dat de onderdelen niet kunnen worden geanalyseerd zonder de interne relatie zelf teniet te doen. Hier is het geheel de som van de delen en iets meer. Dat 'iets meer' is de relatie zelf, de context die de onderdelen hun betekenis geeft. Een voorbeeld kan dit weer illustreren. Vogels vliegen

zodanig dat ze steeds een zwerm vormen. Dit bracht Reynolds (in Waldrop, 1994, blz. 236 ev) op het idee om een grote verzameling autonome, vogelachtige agentia, ‘boids’ in een gesimuleerde omgeving te plaatsen met allemaal muren en obstakels. Elke boid volgde drie eenvoudige gedragsregels:

- Hij probeerde een zo klein mogelijke afstand tot andere objecten in zijn omgeving te bewaren, inclusief andere boids.
- Hij probeerde zijn snelheid gelijk op te laten lopen met andere boids in de buurt.
- Hij probeerde dichter bij het middelpunt van de groep boids in zijn buurt te komen.

Geen van deze regels luidde: ‘vorm een zwerm’. De regels waren geheel en al lokaal en hadden slechts betrekking op wat de individuele boid kon waarnemen in zijn directe omgeving. Als er zich nu een zwerm vormde, dan zou dat achteraf gebeuren, als een emergent verschijnsel. Maar er vormden zich in Reynolds simulatie steeds zwermen: zelfs als de zwerm werd opgebroken door een obstakel, dan voegden beide kanten van de zwerm zich terug tot een geheel. De eigenschap om een zwerm te vormen, kan je dus niet herleiden tot een eigenschap van één vogel. Het gaat hier dus niet over een simpele optelsom van gedrag van individuen. De eigenschap is een eigenschap van het systeem, niet van de individuele leden. Watzlawick zegt hierover het volgende:

“Wanneer interactie wordt opgevat als een derivaat van individuele ‘eigenschappen’, zoals rollen, waarde-oordelen, verwachtingen en motivaties, dan is de samenvoeging daarvan – twee of meer personen in interactie – een ‘hoop’, een optelsommetje dat in meer fundamentele (individuele) eenheden kan worden opgesplitst. Uit het eerste axioma van communicatie – dat alle gedrag communicatie is en dat men niet niet-communiceren kan – volgt daarentegen dat communicatiereeksen ondeelbaar zijn, of kortweg, dat interactie niet optelbaar is.” (Watzlawick e.a., 1970, blz. 111)

Het onderling op elkaar inwerken van de gedragingen van de verschillende boids op zodanige manier dat een zwerm wordt gevormd kunnen we zien als de interne relatie, met als eindpunt de totstandkoming van het emergente verschijnsel, het vormen van een zwerm. Bekijken we het emergente verschijnsel als een eigenschap van het geheel, het vormen van de zwerm, dan maken we gebruik van de externe beschrijving. Ook hier is er informatieverlies. We kunnen vanuit de externe relatie niet terug naar de interne. Dit zou neerkomen op het toeschrijven

van eigenschappen aan de individuele vogels zonder de interne relatie nog voor ogen te houden.

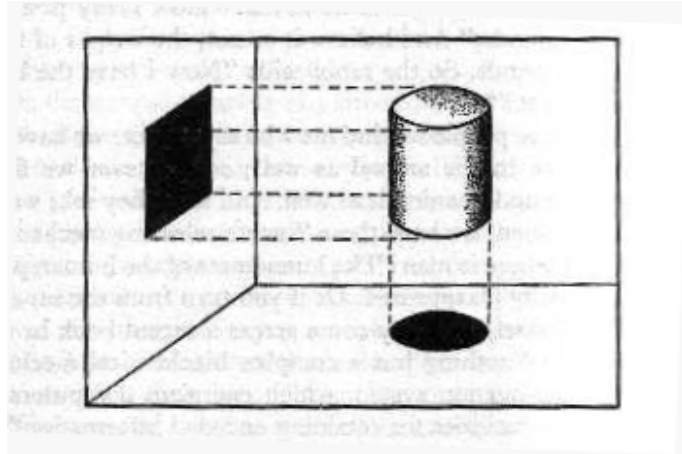
1.5.6. Verschillende niveaus

Tarski suggereerde dat er binnen een taal verschillende niveaus zijn: op het laagste niveau vinden we uitspraken over objecten: objecttaal. Zodra we echter iets willen zeggen over deze taal, moeten we een metataal gebruiken en een meta-metataal als we iets willen zeggen over die metataal, enzovoort. (Ayer, 1986, blz. 165-166)

De externe en interne beschrijvingen bevinden zich op verschillende niveaus. Waar de laatste beschreven worden op niveau n , is de eerste altijd op niveau $n+1$. Dit volgt rechtstreeks uit de definitie van de beschrijving in termen van externe relaties. We hebben het immers altijd ‘over’ een object, waarvan we iets prediceren. Een vertaling van een interne beschrijving naar een externe beschrijving, heeft dus ook altijd voor gevolg dat we naar een hoger niveau gaan. Dit heeft echter nog een andere consequentie. Eens we de vertaling hebben gemaakt naar een beschrijving in termen van externe relaties kunnen we niet meer terug naar de oorspronkelijke interne relatie. Tarski heeft immers duidelijk gemaakt dat taalniveaus niet mogen worden verward en hoe dit tot contradicties kan leiden. (zie verder)

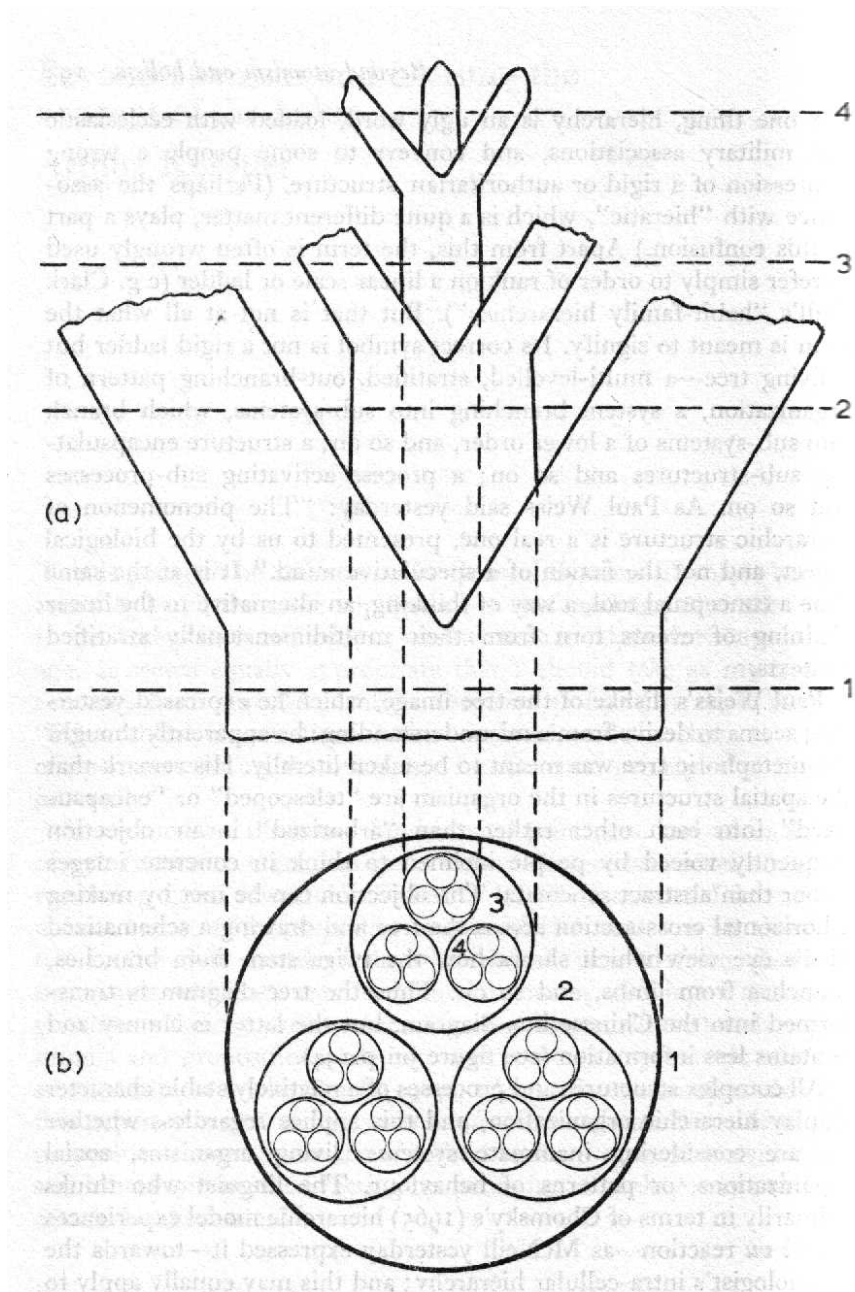
We gebruiken weer het voorbeeld van het ‘bospad’ om dit te illustreren. Wanneer we dingen ‘over’ het bospad zeggen, vertrekken we van de vaststelling dat er zoiets als een bospad bestaat. De interne beschrijving, die het bospad definieert als een spoor dat voortdurend in stand gehouden wordt door mensen is er als vooronderstelling in vervat. Enerzijds ontstaat er een pad omdat mensen erop lopen, anderzijds wordt de weg die mensen nemen in het bos bepaald doordat er al een platgetreden spoor is.

Om mijn punt nog duidelijker te maken, wil ik gebruik maken van een visuele voorstelling. We kunnen een cilinder projecteren als volgt.



We zien hier hoe de projectie minder informatie geeft over de structuur en samenhang van de cilinder, net zoals we in de externe beschrijving abstractie maken van de interne relatie.

Binnen de interne en externe beschrijving zelf kunnen we ook nog verschillende niveaus onderscheiden. Zo kunnen we binnen de externe beschrijving verschillende eenheden bij elkaar optellen tot een groter geheel. Het geheel en de eenheden zijn dan verschillende niveaus. Bij de interne beschrijving zien we hoe het geheel bepaald wordt door de context en hoe een geheel bepalend is voor de onderdelen. We kunnen dan spreken van een elementair niveau, systeemniveau en contextueel niveau in een interne of externe beschrijving. We kunnen dit voorstellen aan de hand van volgende figuur (uit Koestler, 1969, blz. 194)



Het onderste gedeelte (b) stelt de hiërarchische niveaus van de interne beschrijving voor. Het bovenste gedeelte (a) stelt de niveaus uit de externe beschrijving voor.

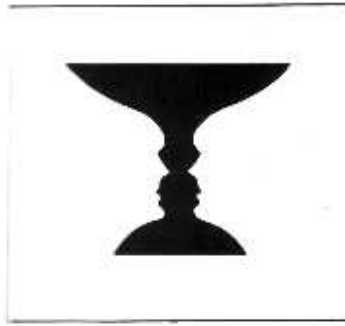
We kunnen de niveaus onderscheiden door de niveaus n en $n+1$ (in de tekening is het onderste gedeelte (b) niveau n en het bovenste gedeelte (a) niveau $n+1$) 'circulaire niveaus te noemen' omdat het hier gaat om de wederzijdse bepaling van interne en externe beschrijving. De niveaus 1, 2 enz. noemen we parallelle niveaus.

1.6. Complementariteit

Willen we de werkelijkheid beschrijven in haar dynamisch perspectief (wording) dan moeten we gebruik maken van de interne beschrijving. Willen we echter over individuele statische dingen schrijven (zijn), dan maken we gebruik van de externe beschrijving. Beide beschrijvingen zijn dus nodig. Anderzijds hebben we gemerkt dat de kenmerken van de interne en de externe beschrijving elkaar wederzijds uitsluiten. We plaatsen de interne en de externe beschrijving nog eens tegenover elkaar:

| <i>EXTERNE BESCHRIJVING</i> | <i>INTERNE BESCHRIJVING</i> |
|------------------------------------|------------------------------------|
| Nadruk op substantie | Nadruk op relatie |
| Accidentele verandering | Substantiële verandering |
| Propositie | Functie |
| Digitaal | Analoog |
| Geheel = som van de delen | Holistisch geheel |
| Niveau n+1 | Niveau n |
| Expliciete betekenis | Impliciete betekenis |
| Valse of juiste bewering | Ambigue beweringen |
| Discretie | Continuïteit |

Om de complementariteit tussen de interne en de externe beschrijving te verduidelijken kunnen enkele voorbeelden nuttig zijn. Wie naar een muziekstuk luistert, kan het geheel horen, de harmonische samenhang van de instrumenten. Wil je je daarentegen concentreren op één enkel instrument, dan hoor je het geheel niet meer. Hetzelfde doet zich voor als we ergens naar kijken: we focussen op één detail en de achtergrond wordt vaag, of we bekijken het geheel en de details verdwijnen in het niet. Dit blijkt ook uit sommige optische illusies. In onderstaande figuur (Rubins vaas-profiel uit Falletta, 1989, blz. 11) zien we bijvoorbeeld een vaas als we focussen op de figuur en twee gezichten als we focussen op de achtergrond. We kunnen echter nooit beide tegelijkertijd zien. Toch zijn ze onlosmakelijk met elkaar verbonden.



We kunnen de complementariteit tussen de interne en de externe beschrijving zien als een middel om de werkelijkheid te 'beschrijven'. Anderzijds moeten we ook vaststellen dat de werkelijkheid zelf, inclusief ons eigen denken 'complementair' is. Zo kunnen we de functie van de linkerhersenhelft in het menselijke brein associëren met de externe beschrijving, met het bezig zijn met details en entiteiten, terwijl de rechterhersenhelft geassocieerd kan worden met de interne beschrijving, waarin het geheel betekenis geeft aan de delen en waarin de relatie bepalend is.

1.7. Complementary processes

Het begrip ‘verandering’ of ‘proces’ krijgt binnen de externe en de interne beschrijving een totaal andere betekenis. Om dit duidelijk te maken, zal ik gebruik maken van enkele centrale ideeën uit Whiteheads procesfilosofie. In dit bestek zal het echter een zeer summiere weergave van zijn ideeën zijn, die daarom ook per definitie niet voldoende eer doen aan zijn werk.

1.7.1. Whiteheads procesfilosofie

Whiteheads procesfilosofie is volgens Kraus een antwoord op de centrale metafysische kritiek nl. zijn versus worden, permanentie versus verandering. Beide polen hebben voor Whitehead evenveel belang. (Kraus, 1979, blz. 1 ev)

1.7.1.1. Actuele entiteiten

Hij verwerpt de substantie als een bestaand ding dat niets anders nodig heeft dan zichzelf om te bestaan. Hij is tegen de opvatting dat de werkelijkheid zou bestaan uit onafhankelijke, onveranderlijke stukjes stof, die volledig op zich staan met daarnaast een geestelijke substantie (bifurcation of nature). Permanentie is bij Whitehead niet een onderliggende basis waarin accidentele verandering plaatsgrijpt. Niet de dingen of de substanties zijn de bouwstenen van het universum maar wel de actuele gebeurtenissen (actual occasion). Volgens zijn ontologisch principe vormen deze gebeurtenissen heel de werkelijkheid. Daarbuiten bestaat er niets:

“‘Actual entities’ – also termed ‘actual occasions’ – are final real things of which the world is made up. There is no going behind actual entities to find anything more real. (...) The ontological principle can be summarized as: no actual entity, then no reason.”
(Whitehead, 1978, blz. 18-19)

Een actuele gebeurtenis is een ‘ervarend centrum’ wiens natuur is geconstitueerd uit de selectieve responsen die het maakt tot de andere leden van de omgeving. Actuele entiteit-zijn is subject-zijn van ervaring. “All final individual actualities have the metaphorical character of occasions of experience.” Gebeurtenissen en creatieve beïnvloeding zijn de basiscategorieën van het werkelijke waarin alles met alles heeft te maken. Dit is Whiteheads relativiteitsprincipe:

“the full universe disclosed for every variety of experience, is a universe in which every detail enters into its proper relationship with the immediate occasion.”
(Whitehead, 1967a, blz. 25)

Volgens Whitehead zijn er twee processen werkzaam in het universum: concrescence en transititie.

1.7.1.2. *Concrescence*

Een actuele entiteit is zelfwording, samengroeiing of ‘concrescence’ van het vele tot een nieuwe ervaring. Deze nieuwe actuele gebeurtenis is een synthese van negatieve en positieve feelings of prehensies. Een positieve prehensie is het vatten als element van zelfwording en een negatieve prehensie is het vatten als uitsluiten omdat een bepaald element in het heelal bij de eigen zelfwording geen belang heeft. (Whitehead, 1978, blz. 41)

Het samengroeien creëert nieuwe subjecten die de veelheid waaruit het ontstaat verrijkt. De veelheid wordt één en is verhoogd met één.

Een actuele gebeurtenis heeft twee polen: de fysische en de mentale. In de act van wording vertaalt dit zich enerzijds in een fysische feeling, of de feeling van andere actuele gebeurtenissen als data en anderzijds de conceptuele feeling of het vatten van de mogelijkheden. Door de fysische pool wordt de actuele gebeurtenis geconfronteerd met de gegevenheid van de actuele wereld, zijn omgeving inbegrepen het eigen lichaam. Wat de actuele gebeurtenis ook doet, het zal door de omgeving worden geconditioneerd, m.a.w. de omgeving treedt binnen in de activiteit van het organisme. Dit is Whiteheads doctrine van objectivatie. (Vlastos, 1963, blz. 162) Door de mentale pool kan de actuele gebeurtenis een selectie maken uit de mogelijkheden (of de eeuwige objecten). Dit is Whiteheads doctrine van de ingressie.

Het tot eenheid worden is dus een tot eenheid uitgroeien (concrescence) van feitelijkheid en mogelijkheid, zoals die zich aandienen voor deze concrete gebeurtenis.

Een courante misopvatting is volgens Van der Veken dat Whitehead en met hem het hele procesdenken de zijns categorie door de categorie worden ‘vervangt’. Het gaat hier dan meer bepaald om de vraag hoe je het blijvend karakter en het worden samen kunt denken. De wereld hier en nu is voor Whitehead slechts 1 aspect van de werkelijkheid. Het andere aspect is de wereld van de mogelijkheden. Het ultieme karakter van het universum kan niet gevat worden zonder tegelijkertijd aandacht te hebben voor de vergankelijke feitelijke wereld én

voor het ontijdelijke rijk van de loutere mogelijkheden: het heelal is dus tweevoudig. (Van der Veken, 1980, blz. 13 e.v.)

Het rijk van de mogelijkheden zijn bij Whitehead de eeuwige objecten. Zij refereren naar elkaar en vormen abstracte patronen. Ze zijn de som van de mogelijkheden en de actuele gebeurtenissen zijn de realisaties, actualisaties van deze mogelijkheden. De metafysische status van een eeuwig object is dat van mogelijkheid voor een actualiteit en actualisatie is dan een selectie tussen mogelijkheden. Eeuwige objecten zijn geen realiteiten, geen substanties of dingen:

Eternal objects are pure potentials for the specific determinations of fact.” (Whitehead, 1978, blz. 32)

Whitehead zelf geeft in ‘Science in the Modern World’ enkele voorbeelden van zulke eeuwige objecten: kleuren, geometrische karakters, geluiden, enz. (Whitehead, 1967a, blz. 103) Ze betekenen dan hetzelfde als wat algemeen universelen, kwaliteiten of karakteristieken wordt genoemd.

Het resultaat van de concrescence is de satisfactie.

“The actual entity terminates its becoming in one complex feeling and involving a completely determinate bond with every item in the universe, the bond being either a positive or a negative prehension. This termination is the ‘satisfaction’ of the actual entity.” (Whitehead, 1978, blz. 44)

Deze satisfactie is een gebalanceerde eenheid. Whitehead maakt hier een vergelijking met een schilderij: toevoeging van 1 element zou heel het kleureevenwicht verstoren.

De selectie van feelings, die later de essentiële bepalingen van de actuele entiteit worden moeten ergens geleid worden door een subjectief doel. Anders is er geen verklaring voor waarom organismen streven naar een welbepaald patroon eerder dan een ander.

“By this term ‘aim’ is meant the exclusion of the boundless wealth of alternative potentiality, and the inclusion of that definite factor of novelty which constitutes the selected way of entertaining those data in that process of unification. The aim is at that complex of feeling which is the enjoyment of those data in that way. “That way of enjoyment” is selected from the boundless wealth of alternatives. It has been aimed at for actualization in that process.” (Whitehead, 1968, blz. 152)

In dit verband is het belangrijk erop te wijzen dat Whitehead elke gebeurtenis teleologisch ziet. Het doel van de wording is de eenheid, of beter de ‘schone’ eenheid, een goed en beter bestaan. Schoonheid is de overkoepelende notie over waarheid en goedheid omdat deze laatste ook wezenlijk verbonden zijn met harmonie.

De hele werkelijkheid bestaat dus uit actuele gebeurtenissen die elementen uit de actuele wereld en uit de wereld van de mogelijkheden synthetiseren tot een nieuwe eenheid of satisfactie, hierbij geleid door een subjectief doel.

1.7.1.3. Transitie

We besteden nu meer aandacht aan het tweede proces: transitie. Elke actuele gebeurtenis is in zijn natuur eindig. Elke actuele gebeurtenis is dus op zijn beurt object voor nieuwe subjecten. Dit proces noemt Whitehead transitie. Concrecence en transitie zijn eigenlijk verschillende vertalingen van dezelfde entiteit: concrecence is de genese vanuit de wereld, transitie is de actuele gebeurtenis als gegeven voor nieuwe creatie, of m.a.w. concrecence is het proces waardoor het actuele gebeurtenis uitgroeit tot actuele gebeurtenis. In de concrecence komt het vele tot eenheid en in transitie gaat de werkelijkheid in zijn geheel vooruit⁴ De actuele gebeurtenis is dus het product van het verleden en tegelijk een gegeven voor de toekomst. Het proces van concrecence is noch tijdelijk, noch ruimtelijk. Tijd wordt mogelijk door het proces van transitie als opeenvolging van actuele gebeurtenissen. Actuele gebeurtenissen zijn tijdseenheden of ‘duren’ die in hun opeenvolging tijd vormen. Er is dus een worden van continuïteit, maar geen continuïteit van worden. In deze context is het belangrijk in te gaan op Whiteheads visie op oorzakelijkheid. Efficiënte oorzakelijkheid drukt de transitie uit van actuele entiteit naar actuele entiteit en finale oorzakelijkheid drukt het intern proces uit waardoor de actuele entiteit zichzelf wordt. (Whitehead, 1978, blz. 150)

Het creatieve proces wordt dan door Whitehead als volgt omschreven:

“The creative process is rhythmic: it swings from the publicity of many things to the individual privacy; and it swings back from the private individual to the publicity of the objectified individual. The former swing is dominated by the final cause, which is

⁴. Whitehead spreekt van ‘creative advance’ ‘Advance’ mag niet worden vertaald door ‘vooruitgang’ in de courante betekenis van het woord. Het duidt eerder op het voortschrijden van de werkelijkheid als zodanig, destructief zowel als constructief.

the ideal; and the latter swing is dominated by the efficient cause, which is actual.”
(Whitehead, 1978, blz. 151)

1.7.1.4. Analyse van de vormgevende elementen

In ‘Religion in the Making’ onderscheidt Whitehead drie vormgevende elementen; nl. het rijk van de vormen of de eeuwige objecten, de creativiteit of het beginsel van voortdurende wording van eenheid uit veelheid en het principe van bepaaldheid van de wording of God.
(Whitehead, 1971b, 86-91)

De eeuwige objecten

Whitehead gebruikt het begrip eeuwige objecten om identiteit, permanentie, abstractheid, universaliteit en mogelijkheid te verklaren.

Eeuwige objecten zijn abstract, dat wil zeggen dat het eeuwig object in zijn essentie te begrijpen is zonder referentie naar een bepaalde actuele gebeurtenis. Eeuwige objecten verklaren identiteit. Immers, kennis veronderstelt herkenning. Het is echter onmogelijk een gebeurtenis te herkennen omdat elke gebeurtenis verschillend is van een ander. Wat herkend wordt is altijd een eeuwig object. Ingressie is dan de functie die het eeuwig object vervult om identiteit te brengen in de diversiteit van actuele gebeurtenissen.

Ze zijn universeel, d.w.z. dat ze aanwezig zijn in elke actuele gebeurtenis ofwel geobjectiveerd ofwel uitgesloten (d.w.z. dat de actuele gebeurtenis het betreffende eeuwige object als onvervulde mogelijkheid laat liggen).

Ten slotte zijn ze permanent omdat ze buiten tijd en ruimte zijn.

E. Hall beweert dat Whitehead zelf in ‘bifurcation of nature’ vervalt door zijn onderscheid actuele gebeurtenis/eeuwig object. Volgens Hall verklaart Whitehead in zijn laatste werken de actuele gebeurtenissen in termen van universaliteit, abstractheid, identiteit, mogelijkheid en permanentie zodat de notie eeuwig object overbodig blijkt. (Hall, 1963, blz. 102-116)

In dit bestek ga ik hier niet verder op in. Het volstaat op te merken dat het concept eeuwige objecten bij Whitehead nogal duister blijft.

Creativiteit

De creativiteit is bij Whitehead het metafysisch ultieme:

It is that ultimate notion of the highest generality at the base of actuality.” (Whitehead, 1978, blz. 91)

Alle activiteiten zijn instanties van creativiteit. Anderzijds krijgt creativiteit, krachtens het ontologisch principe pas actualiteit door zich te realiseren in een actuele wereld. Creativiteit is het principe waardoor het ene met het vele ritmisch met elkaar verbonden zijn.

Volgens Kraus vormen de actuele gebeurtenissen en de eeuwige objecten de statische aspecten van de realiteit. Creativiteit is dan de notie die vraag moet beantwoorden: waarom groeit een bepaald verleden door bemiddeling van eeuwige objecten tot een nieuw heden? (Kraus, 1979, blz. 36-37)

De creativiteit 'bestaat' niet, omdat bestaan betekent gedetermineerd zijn; het is echter ook geen mogelijkheid. Creativiteit is eerder de grond voor mogelijkheid. Het is dus datgene wat verklarend is, maar zelf niet dient verklaard te worden.

God

De creativiteit is vormeloos en ongebreideld. Er is dus nood aan een principe van beperking aan de creativiteit. Deze functie vervult God voor Whitehead. God is het beginsel van bepaaldheid. Het is de instantie in het universum die het rijk der mogelijkheden conceptueel vat en ordent. De activiteit van God t.o.v. het rijk van de mogelijkheden bestaat in het innerlijk op elkaar afstemmen van de mogelijkheden. God is het beginsel dat de wording van binnen uit richt, niet de wording zonder meer. (Van der Veken, 1984-1985, blz. 37-38)

1.7.1.5. Interne en externe relaties bij Whitehead

Whitehead gaat ervan uit dat de toekomst gebeurtenissen analoog aan direct ervaren gebeurtenissen zal inhouden en dat ze zullen worden afgeleid van het heden op zo'n manier dat de algemene orde van de huidige omgeving bewaard zal blijven.

“(...) the present bears in its own essence the relationships which it will have to the future. (...) The future is there in the present as a general fact belonging to the nature of things. It is also there with such general determinations as it lies in the nature of the particular present to impose on the particular future which must succeed it.”
((Whitehead, 1967b, blz. 194)

Whitehead steunt hier op de doctrine van interne relaties. In het proces van transitie volgen de gebeurtenissen elkaar niet op alsof ze los zouden staan van elkaar. Integendeel, de vorige gebeurtenis is object voor het volgende en neemt op die wijze deel aan de toekomst. Vandaar dat hij zegt dat het heden de toekomst in zich draagt. Whitehead licht dit toe aan de hand van een model: wanneer we een steen in het water gooien, ontstaan er golven. De opeenvolging van deze golven waarbij de golven de gebeurtenissen voorstellen en de opeenvolging de

transitie is dan een model voor tijd. Elke grotere golf dekt de kleinere en houdt ze in zich. Men kan de golven niet als afzonderlijke delen uit elkaar nemen, ze zijn intern aan elkaar.

Bij de externe-relatie doctrine daarentegen krijgen we te maken met de notie substantie als op zichzelf staande entiteit (dus extern aan de rest van de werkelijkheid). In dit laatste model is verandering en tijd geen opeenvolging van dingen extern aan mekaar (vgl. kralen op een koord). Er is dan echter een onveranderbare basis (de koord) nodig om de stadia in de verandering te verenigen.

Met de uniformiteit van de natuur als vooronderstelling kan Whitehead zijn standpunt omtrent de mogelijkheid van de inductie toelichten. Voor Hume (in Whitehead, 1967b, blz. 233) die een doctrine van externe relaties aanhing, is inductieve referentie irrationeel omdat we geen verdere kennis omtrent de relaties van iets tot iets anders kunnen veronderstellen omwille van het extern karakter van de dingen tegenover elkaar. Whitehead daarentegen zegt dat er reden is om vertrouwen te stellen in de inductie steunend op zijn theorie van de interne relaties en omdat het heden de toekomst in zich draagt, of m.a.w. omdat we kunnen verwachten dat het algemeen karakter van de omgeving wordt geconstitueerd.

1.7.2. Interne en externe verandering

In een interne beschrijving kunnen we de relatie als constante opvatten en de entiteiten als veranderlijken, terwijl een externe beschrijving constante entiteiten heeft maar een veranderlijke relatie. De twee soorten beschrijvingen vertegenwoordigen dus ook twee verschillende soorten verandering. Het proces van concrescence is een soort genese, waarbij de verschillende interne relaties samenwerken en waar uit de veelheid een eenheid ontstaat. Hoewel Whitehead deze eenheid ziet als een actual occasion en niet als een substantieel iets, een ding, kunnen we er toch vanuit gaan dat het hier gaat om een soort geheel, dat immers als object voorwerp uitmaakt voor het proces van transitie.

Wat we merken is dat er een voortdurende wisselwerking is tussen de interne en de externe beschrijving. Bij concrescence is de satisfactie het resultaat van de interne relatie tussen de feelings, het gevolg van ingressie en objectivatie. Naarmate de nadruk ligt op de relaties is er sprake van een interne beschrijving. Eens we echter spreken van de satisfactie, is er een ‘tijdelijke’ eenheid, die object wordt voor het proces van transitie en in die zin maken we gebruik van een externe beschrijving. Bij het proces van transitie volgen we de omgekeerde weg. We vertrekken van een ‘object’ (externe relatie) dat nu in een interne relatie nieuwe gebeurtenissen teweeg brengt. (interne relatie)

Hoewel we dus een onderscheid kunnen maken tussen een interne en een externe beschrijving, weten we dat Whitehead zelf alles in termen van interne relaties beschrijft. De voortgang zelf is een intern proces, waarin elke golf deel uitmaakt van een grotere golf. Naarmate we focussen op de details, zien we steeds dezelfde wisselwerkingen, dezelfde structuren optreden. We kunnen nu de twee processen (conrescence en transitie) situeren tegen de achtergrond van een groter intern proces, dat ik het complementaire proces wil noemen. Het sluit immers zowel het interne als het externe proces in. Het is met andere woorden de verbinding van ‘alles met alles’.

1.7.3. Soorten interne relaties

Vanuit de satisfactie, de eenheid die tevoorschijn komt uit de interne relaties kunnen we onderscheid maken in verschillende soorten interne relaties. We vertrekken van de idee dat de zogenaamde ‘eigenschappen’ van een ding eigenlijk het resultaat zijn van interne relaties. Zo’n eigenschappen noemden we ook ‘interne predicaten’. We kunnen onderscheid maken tussen drie soorten eigenschappen of interne predicaten:

- Eigenschappen die voortvloeien uit de interne relatie met een andere ‘entiteit’. Zo is bijvoorbeeld in een complementaire relatie de ene partner onderdanig en de andere partner overheersend, dank zij de relatie. Hun betrekking op mekaar en hun interactiepatroon bepaalt dat de ene het ene gedragpatroon heeft en de andere het complementaire.
- Eigenschappen die voortvloeien uit de interne relatie met het systeem waarvan het deel uitmaakt. Hierbij is vaak de plaats binnen het systeem bepalend zoals in het voorbeeld van de binnencellen en de buitencellen in een organisme.
- Eigenschappen die voortvloeien uit de interne relatie met het geheel. Een concreet voorbeeld zou de stelling hier ontkrachten. ‘Het geheel’ is immers moeilijk te concretiseren. Misschien wordt het iets duidelijk als we bedenken wat we precies bedoelen wanneer we van iemand zeggen ‘hij was een kind van zijn tijd’.

Op basis van deze indeling kunnen we nu drie soorten interne relaties onderscheiden:

- Horizontale interne relaties: brengt entiteiten voort op gelijk niveau: elementen uit een systeem of twee subsystemen uit een groter systeem.
- Verticale interne relaties: brengt onderdelen van systemen of subsystemen voort.

- Contextuele interne relatie: verbindt alles met alles.

Het zal ook al duidelijk zijn dat er een hiërarchie is in de interne relaties en dat ze elkaar ook onderling beïnvloeden. Zo zal de interne relatie op systeemniveau (verticale interne relatie) de relatie op elementair niveau (horizontale interne relatie) mee bepalen. De contextuele interne relatie staat dus op het hoogste niveau, gevolgd door het systeemniveau en ten slotte het elementaire niveau.

1.7.4. Soorten externe relaties

Naar analogie met interne relaties kunnen we ook drie soorten ‘externe relaties’ postuleren:

- Wanneer we een horizontale interne relatie omzetten in een externe beschrijving, dan zullen we veelal gebruik maken van de causaliteitsrelatie, zoals in het voorbeeld van het jammerende vrouw en de zich terugtrekkende man.
- Een verticale interne relatie kunnen we vertalen naar een ‘productierelatie’: verschillende entiteiten zullen samenwerken om systeem tot stand te brengen.
- De globale interne relatie kunnen we dan vertalen als een globale productierelatie

We merken dat de hiërarchie hier tegengesteld is aan deze van de interne relaties. Op basis van deze indeling kunnen we bijvoorbeeld uitleggen hoe twee mensen samen een bepaalde relatie aangaan en bestendigen en hoe ze daarna in interactie met nog meer mensen een groter samenlevingsverband opzetten en uiteindelijk ook de natuur en de hele omgeving om hen heen ‘creëren’. Of nog anders gezegd: wanneer je een machine creëert, assembleer je bepaalde onderdelen tot een geheel. De eigenschappen van de elementen op het elementaire niveau bepalen het systeemniveau dat op zijn beurt bepalend is voor het contextueel niveau.

1.7.5. De wisselwerking tussen interne en externe beschrijving

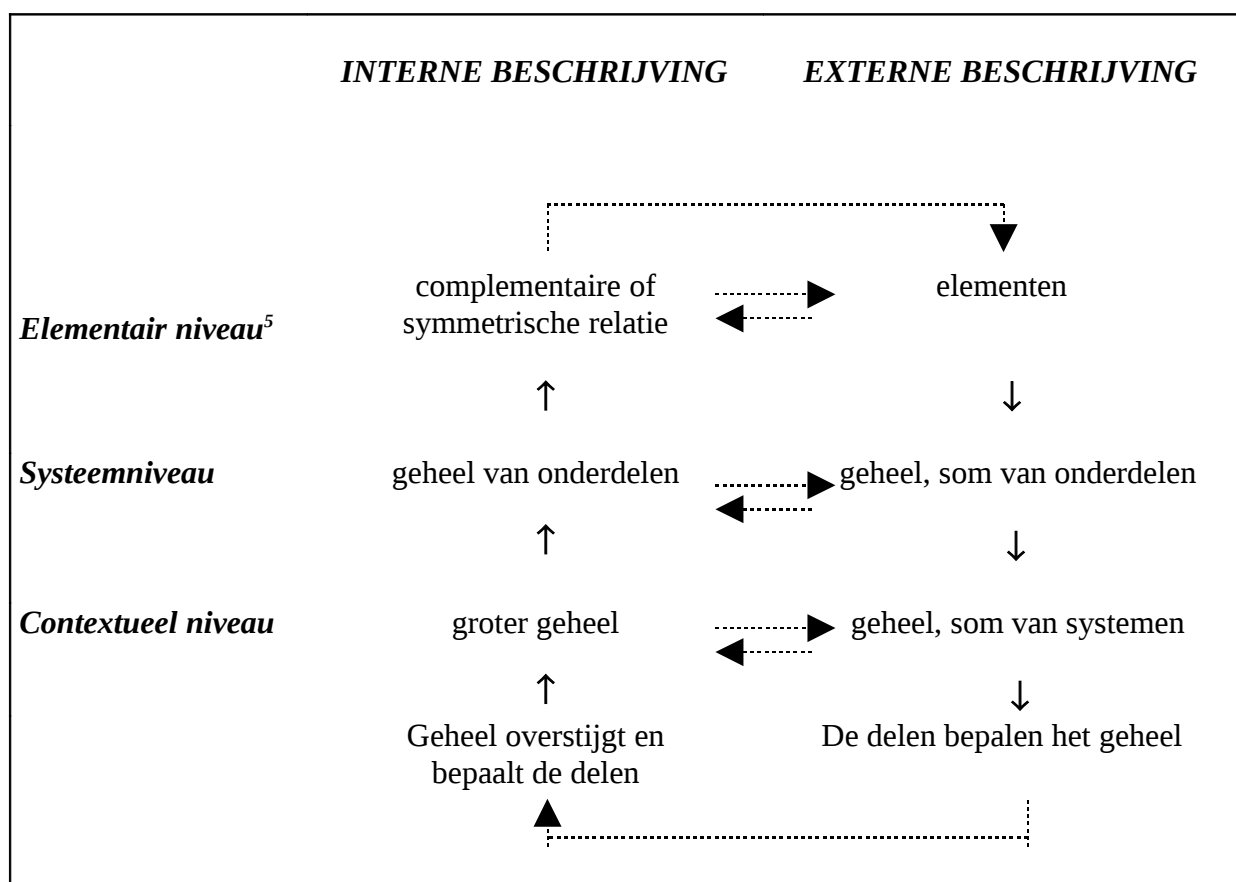
Laten we nu eerst nog eens inzoomen op de wisselwerking zelf tussen de interne en de externe beschrijving. In welk verband staat nu de interne beschrijving tot de externe? Er zijn drie mogelijke antwoorden:

- 1) ze zijn wederzijds onafhankelijk van elkaar;
- 2) de ene beschrijving kan worden afgeleid van de andere;
- 3) ze hangen complementair samen.

De eerste mogelijkheid zou erop neerkomen dat er twee totaal verschillende beschrijvingen van de werkelijkheid mogelijk zijn, wat de wereld totaal onverklaarbaar maakt. Dit lijkt me daarom niet aanvaardbaar. Het is overigens duidelijk dat de interne en de externe beschrijving niet onafhankelijk van elkaar zijn.

De tweede mogelijkheid is ook niet aanvaardbaar. Wanneer je immers een interne beschrijving vertaalt in een externe beschrijving verlies je essentiële informatie, wat ook betekent dat de omgekeerde beweging, een vertaling van een externe beschrijving naar een interne beschrijving slechts partiëel mogelijk is. (Interne relatie primair)

Blijft ten slotte de laatste mogelijkheid, die we nu als volgt schematisch kunnen voorstellen :



Deze tabel geeft voor elk niveau de interne en externe beschrijving. Doorlopen we de verschillende niveaus van de interne beschrijving vertrekkend van het contextueel niveau, dan

⁵ Het elementair niveau kan op zijn beurt als systeemniveau gezien worden voor nog lagere niveaus. Zo kan men een cel als onderdeel zien van een organisme. Maar op haar beurt is de cel weer een geheel ten opzichte van haar onderdelen.

zien we dat de interne relatie van de context bepalend is voor de interne relaties op systeemniveau, die op haar beurt de interne relaties op elementair niveau bepaalt. Met andere woorden, het geheel bepaalt de delen, uit het vele komt het 'ene' tevoorschijn. Dit kan dus vergeleken worden met Whiteheads proces van concrescence. Bekijken we de verschillende niveaus van de externe beschrijving, dan merken we dat we omgekeerd tewerk gaan: we vertrekken van elementen met hun eigenschappen en bouwen zo grotere gehelen op. De onderdelen en hun eigenschappen bepalen dus het geheel. Hoewel Whitehead transitie ziet in termen van interne relaties kunnen we dit proces toch enigszins vergelijken met 'transitie'. Voor de duidelijkheid herdefinieer ik transitie als het proces waarbij een bepaalde satisfactie als gegevenheid oorzaak is voor het ontstaan van nieuwe objecten. Zo kunnen we ervan uitgaan dat het proces van concrescence, waarbij het ene uit het vele komt een 'satisfactie' teweeg brengt, die nu als gegevenheid of object het vertrekpunt kan vormen voor het proces van transitie (externe beschrijving). Hoe gaat dit in zijn werk? Eens de satisfactie vorm gekregen heeft, zal het als 'object' fungeren. De voorbeelden uit de psychologie zijn het beste om dit te illustreren. Eens iemand door interactie met zijn omgeving vastzit in een bepaald (gedrags)patroon, zal hij dit gedrag gaan beschouwen als een eigenschap die bij hem als individu hoort. Bij het naar buiten treden in de wereld zal hij dit gedrag als geïncorporeerde eigenschap meenemen. Hij treedt naar de buitenwereld als een 'iemand' met bepaalde 'karaktereigenschappen'. Daarmee schakelen we dus over naar de externe beschrijving.

Hoewel we dus twee soorten evoluties kunnen onderscheiden: van het geheel waaruit uit het vele het ene voortkomt (concrecence) en het ene dat aanleiding geeft tot een nieuw geheel (transitie) merken we dat deze twee in elkaar vervlochten zijn. De beschrijvingen zijn complementair. Dat wil zeggen dat we op elk niveau kunnen overgaan van een interne beschrijving naar een externe. Anderzijds kan de externe beschrijving implicaties hebben voor de interne beschrijvingen. De grote cirkel van evoluties omvat dus verschillende kleinere evolutionaire cirkels, waarbij intern en extern elkaar voortdurend afwisselen en de grote cirkel mee beïnvloeden.

Waar interne verandering dus eigenlijk kenmerkend is voor het proces van concrescence, waarbij uit het vele het ene tevoorschijn komt, is externe verandering kenmerkend voor het proces van transitie, waarbij een satisfactie als eenheid naar buiten treedt en zorgt voor een nieuwe eenheid. Net zoals externe en interne beschrijving complementair zijn, zijn ook deze veranderingen complementair. Hiervoor wil ik graag beroep doen op Watzlawick. Hij maakt

een onderscheid tussen twee soorten verandering, een verandering op niveau 1 (interne verandering) en een verandering op niveau 2 (externe verandering).

1.7.5.1. Interne verandering

Definitie en voorbeelden

Bij een verandering op niveau 1 gaat het om veranderingen binnen een systeem. We stellen dan vast dat “hoe meer er verandert, hoe meer alles hetzelfde blijft”. Kenmerkend is namelijk dat deze veranderingen het systeem zelf ongewijzigd laten. Wanneer één van de elementen in het systeem verandert, zal een ander element in de tegenovergestelde zin veranderen, zodat het systeem terug in evenwicht is. Watzlawick geeft als voorbeeld: het vallen van de winter en koudere temperaturen zal ons ertoe brengen meer te verwarmen en meer kleding te dragen zodat het we het uiteindelijk even warm hebben als tevoren. (Watzlawick e.a., 1975, blz. 49)

Kenmerkend voor verandering 1 is het circulaire karakter. Watzlawick geeft het voorbeeld van het echtpaar met huwelijksproblemen. Hij draagt hieraan bij door een passieve, teruggetrokken houding, terwijl zij voornamelijk vitterige kritiek uit. Bij de uiteenzetting van hun moeilijkheden zal de echtgenoot verklaren dat zijn teruggetrokken houding zijn *enige verweer tegen* haar gevit is, terwijl zij deze verklaring tot een grove en eigenzinnige verdraaiing van de ‘feiten’ in hun huwelijk zal bestempelen, nl. dat zij hem kritiseert *omdat* hij zo passief doet. Beiden zien ze de ander als oorzaak van het probleem. Kenmerkend hierbij is ook dat de oplossing, die ieder voor zich voor ogen heeft, het probleem juist genereert. Hoe meer zij vit (ten einde hem uit zijn tent te lokken) hoe meer hij juist in zijn schelp kruipt en omgekeerd. (Watzlawick e.a., 1970, blz. 49-50)

Een ander voorbeeld is dat van de man met pleinvrees. (Watzlawick e.a., 1975, blz. 100-101) De arme man zal na een tijd niet meer buiten durven komen, om de paniekaanvallen te vermijden. Na een tijdje besluit hij er een einde aan te maken, door met een auto ergens tegen te rijden, ervan uitgaande dat de paniek hem wel vlug zal overvallen eens hij buiten is. Hij komt echter tot de vaststelling dat de paniek als bij toverslag verdwenen is. Zijn oplossing (nl. steeds meer grote ruimten vermijden) was uiteindelijk de oorzaak van zijn probleem en maakte het steeds erger.

In deze beide voorbeelden zal verandering op niveau 1 het probleem niet oplossen omdat een verandering van niveau 2 nodig is. De basisassumpties of de structuur van het systeem zelf moeten gewijzigd worden. De nadruk ligt dan niet meer op een oplossing van het probleem,

maar op een wijziging van de manier waarop het probleem wordt gereguleerd. (Watzlawick e.a., 1975, blz. 102)

Wiskundige voorstelling

Watzlawick maakt gebruik van wiskundige begrippen om zijn theorie duidelijk te maken. Voor verandering 1 gebruikt hij de basispostulaten van 'groepen'. Een groep is een geheel met volgende eigenschappen:

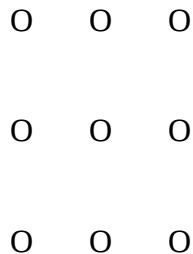
- 1) Alle elementen hebben een gemeenschappelijke eigenschap. Elke samenstelling van elementen is dan ook opnieuw een element. Zo is bijvoorbeeld in de groep met als element de uren elke samenstelling (in dit geval een optelling van uren) opnieuw een element uit de groep. Zo is er dus de mogelijkheid tot verandering binnen de groep maar de gemeenschappelijke eigenschap belet ook dat een element of een samenstelling van elementen zich buiten het systeem zou plaatsen.
- 2) Een samenstelling van elementen is commutatief, dat wil zeggen dat de volgorde van de samenstelling geen belang heeft, of nog anders : een andere volgorde geeft toch hetzelfde resultaat. Er kan dus variatie in het proces zijn, terwijl het resultaat invariant blijft.
- 3) Een groep heeft een neutraal element. Dat wil zeggen dat elke samenstelling van het neutraal element met een ander element terug dit ander element oplevert.
- 4) Elk element heeft een symmetrisch of invers element, zodanig dat de samenstelling tussen een element met zijn invers element het neutraal element oplevert.

Watzlawick gebruikt deze theorie om te illustreren hoe verandering samenhangt met permanentie in die gevallen waarin : "hoe meer iets verandert, hoe meer het gelijk blijft". De groepstheorie is een model voor het type verandering dat zich afspeelt binnen een systeem dat zelf gelijk blijft.

1.7.5.2. Externe verandering

Definitie en voorbeelden

Een verandering op niveau 2 is een verandering van de basisassumpties van het systeem. Watzlawick illustreert dit weer met een voorbeeld: probeer onderstaande negen punten te verbinden door middel van vier rechte lijnen zonder het potlood van het papier te verwijderen.



Meestal gaat men ervan uit dat de lijnen moeten gevormd worden binnen het vierkant, dat wordt gevormd door de negen punten. Eens men hiervan uitgaat, is het onmogelijk om de oplossing te vinden. Er blijft altijd een punt over dat niet verbonden is. Men vindt de oplossing door na te denken over de vooronderstellingen en niet door de punten zelf te bestuderen. De oplossing bestaat er namelijk in om lijnen te trekken tot buiten het vierkant: (Watzlawick e.a., 1975, blz. 43-46)

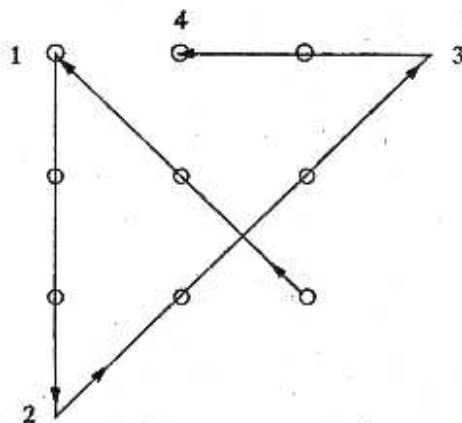


Figure 2. La solution du problème des neuf points.

Een verandering niveau 2 bevindt zich dus op een hoger logische niveau (niveau $n + 1$) dan de verandering van niveau 1 (niveau n). Verandering van niveau 2 wordt geïntroduceerd van buiten het systeem en kan niet worden vertaald in termen van verandering 1. Verandering niveau 2 komt dan ook over als een discrete sprong t.o.v. het systeem.

Veel psychologische problemen hebben de eigenschap dat ze het resultaat zijn van foutieve vooronderstellingen. De premissen zijn dan reëler dan de realiteit. Een student ziet

bijvoorbeeld het feit dat hij tot nu toe steeds uitstekende cijfers haalde als een toeval en verwacht dat hij vandaag of morgen door de mand valt en aan het licht komt dat hij helemaal niet zo'n goede student is. De oplossing van zo'n problemen wordt vaak gezien in een verandering op niveau 1 waardoor de patiënt het probleem eigenlijk in stand houdt. Het probleem kan dan pas opgelost worden, wanneer de valse premissen worden aangevochten (verandering niveau 2). Hoe dit precies in zijn werk gaat, komt verder aan bod. Ten slotte blijkt dat deze oplossing van een probleem geen enkel beroep doet op een analyse van oorzaken. Op geen enkel moment wordt de 'waarom'-vraag beantwoord. Het heeft inderdaad geen belang hoe en waarom een bepaald probleem is ontstaan. Enkel de wat-vraag is belangrijk.

Wiskundige voorstelling

Om verandering 2 te illustreren gebruikt Watzlawick de theorie van logische typen van Whitehead en Russel (Watzlawick e.a., 1975 blz. 24 ev). Deze theorie vertrekt ook van het concept van een verzameling objecten die bijeengebracht werden omdat ze een gezamenlijke eigenschap hebben. De eenheden van deze verzameling heten echter leden en de verzameling zelf heet klasse. Een belangrijk axioma in deze theorie is dat 'wat alle leden van een verzameling bevat, zelf geen lid kan zijn van een verzameling.' Zo is bijvoorbeeld de mensheid de klasse van alle individuen, maar ze is zelf geen individu. Zo kan ook het economisch gedrag van de populatie van een grote stad niet begrepen worden in termen van het gedrag van een individu vermenigvuldigd met bijvoorbeeld vier miljoen. Dat is precies de fout van het economisch model van Robinson Crusoe. Een populatie van vier miljoen verschilt niet enkel kwantitatief van een individu maar ook kwalitatief, vermits het ook de interacties tussen de individuen bevat. Het is dus belangrijk een onderscheid te maken tussen lid en klasse, evenals men voor ogen moet houden dat een klasse geen lid kan zijn van zichzelf.

Watzlawick trekt twee conclusies uit de theorie der logische typen :

- 1) de logische niveaus moeten duidelijk onderscheiden blijven, wil men niet in paradoxen terecht komen ;
- 2) de overgang van een niveau naar een hogere niveau (dat wil zeggen van een lid naar de klasse) bestaat uit een mutatie, een sprong of een discontinuïteit, een transformatie, in één woord een verandering, die van groot belang is vermits ze toelaat om het systeem te verlaten.

1.7.6. Paradoxen

Met Watzlawick kunnen we drie soorten paradoxen onderscheiden. De eerste zijn de logicomathematische paradoxen. De beroemdste paradox uit deze groep is de paradox van Russel. Deze vertrekt van het begrip 'klasse'. Dit is een verzameling van alle objecten die een bepaalde eigenschap bevatten. Zo kan het universum bijvoorbeeld verdeeld worden in de klasse 'katten' en de klasse 'niet-katten'. Een object kan nooit tot beide klassen tegelijk behoren. Dat zou een logische tegenstrijdigheid zijn.

We kunnen nu een niveau hoger gaan en kijken naar de klassen zelf. Dan kunnen we onderscheid maken tussen de klassen die zichzelf impliceren en diegenen die dat niet doen. Zo is bijvoorbeeld de klasse van de katten zelf geen kat, maar de klassen van niet-katten is zelf wel een niet-kat.

Gaan we nu nog een niveau hoger, dan kunnen we de verzameling van alle klassen die zichzelf impliceren de klasse M noemen en de verzameling van alle klassen die zichzelf niet impliceren de verzameling N. De paradox van Russell ontstaat wanneer we ons afvragen of de klasse N zichzelf impliceert of niet. Immers, als klasse N zichzelf impliceert, impliceert ze zichzelf niet, omdat N immers juist de klasse der klassen is die zichzelf niet impliceren. Als N zichzelf daarentegen niet impliceert, dan voldoet ze aan de voorwaarde van het zichzelf-impliceren, en impliceert ze zichzelf dus juist omdat ze zichzelf *niet* impliceert, want niet-zichzelf-impliceren is immers het essentiële onderscheid van alle klassen waaruit N is samengesteld.

Formeel: Beschouw de verzameling R van alle verzamelingen die zichzelf niet als element bevatten, dus:

$$R := \{x \mid x \notin x\} \quad \text{zodat} \quad x \in R \Leftrightarrow x \notin x.$$

Voor R zelf geldt nu :

$$R \in R \Leftrightarrow R \notin R.$$

De verzameling R zou zichzelf dus als element bevatten, als hij geen element van zichzelf was.

Russel maakte met zijn theorie van de logische typen duidelijk dat er eigenlijk een fout werd gemaakt : hij stelt dat iedere uitspraak omtrent alles van een verzameling zelf niet deel mag uitmaken van de verzameling. M.a.w. : de Russelliaanse paradox is te wijten aan een verwarring van logische typen of niveaus. Een klasse is van hoger type dan haar delen ; om

haar te postuleren moesten we een trap hoger gaan in de hiërarchie der typen. Als we dus zeggen dat de klasse van alle begrippen zelf een begrip is, zoals we inderdaad hebben gedaan, dan is dat niet onwaar, maar zinloos.

We kunnen ons nu afvragen hoe het komt dat een verwarring in logische typen tot paradoxen leidt. Hierbij kan het onderscheid tussen interne en externe beschrijving verheldering brengen. We gaan er vanuit dat de verzameling R een systeem is met als interne eigenschap het 'zichzelf niet impliceren'. We kunnen nu R als een 'satisfactie' een geheel beschouwen met externe eigenschappen. Wanneer we een uitspraak doen over R schakelen we immers over van de interne beschrijving naar de externe beschrijving. Daarmee wijzigen we ook de interne relatie. (verandering 2) De paradox ontstaat nu door R tegelijk te zien als onderdeel van R (in een intern verband) en anderzijds R als geheel in een extern verband. Vermits de externe beschrijving een verandering 2 is en dus de interne relatie wijzigt, betekent het dus dat een onderdeel uit een geheel het geheel (en daarmee ook zichzelf in dat geheel) wijzigt. Hieruit blijkt ook dat we vanuit de interne relatie deze relatie zelf niet kunnen wijzigen. Er is altijd een metaniveau nodig. Of met andere woorden: om de interne relatie 'in' een systeem te wijzigen, moeten we 'buiten' het systeem staan (op metaniveau) en gebruik maken van een verandering 2.

Een tweede soort paradoxen zijn paradoxale definities of semantische paradoxen. De beroemdste is die van de man die van zichzelf zegt dat hij een leugenaar is: 'ik ben een leugenaar', ook wel de paradox van de Cretenzer, die zegt: alle Cretenzers liegen. We zien hier weer dat als de brave man de waarheid spreekt, hij liegt en omgekeerd. Omdat we hier niet met verzamelingen of klassen te maken hebben, lijkt de theorie van de typen hier niet van toepassing. Maar Tarski suggereerde dat ook binnen een taal verschillende niveaus kunnen ontstaan: op het laagste niveau vinden we uitspraken over objecten: objecttaal. Zodra we echter iets willen zeggen over deze taal, moeten we een metataal gebruiken en een meta-metataal als we iets willen zeggen over die metataal, enzovoort.

Als we dit begrip van taalniveaus toepassen op de semantische antinomie van de leugenaar, kunnen we begrijpen dat zijn bewering, hoewel ze maar uit enkele woorden bestaat, twee uitspraken bevat. De ene ligt op objectniveau en de ander op metaniveau en zegt iets over de eerste, namelijk dat ze niet waar is. In de theorie van de taalniveaus is dit soort op-zichzelf-betrokkenheid van uitspraken die hun eigen waarheid of onwaarheid raken (of analoge eigenschappen, zoals bewijsbaarheid, definieerbaarheid, bepaalbaarheid, e.d.) de tegenhanger

van het begrip van zichzelf-impliceren bij een klasse in de theorie van de logische typen – het zijn beide zinloze beweringen.

Bekijken we de semantische paradox nu weer vanuit de tweedeling interne en externe beschrijving. Als we ons afvragen of de Cretenzer de waarheid spreekt of liegt, redeneren we als volgt:

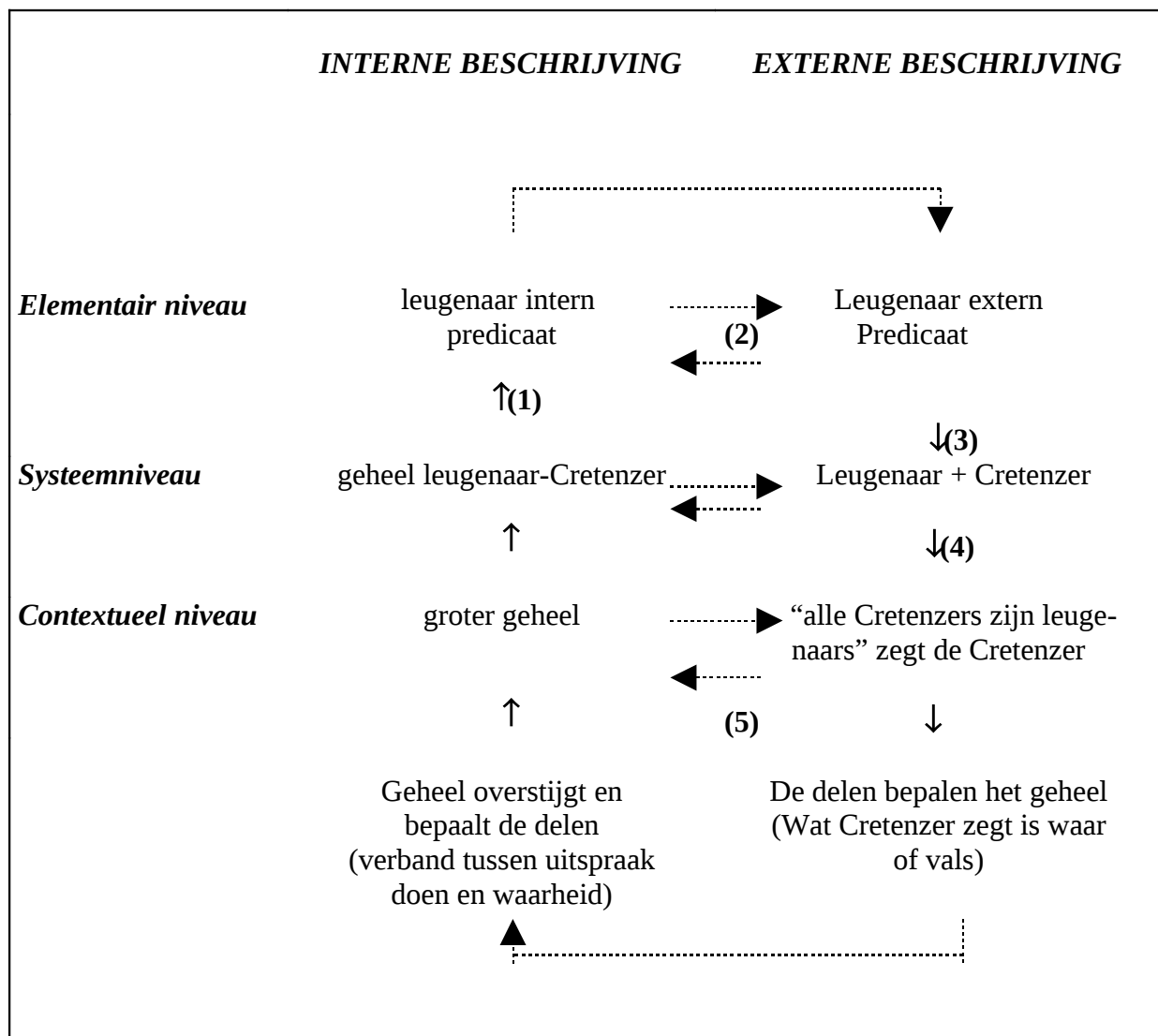
- 1) De Cretenzer is zelf ook een Cretenzer en zal bijgevolg liegen. Hier is de ‘eigenschap’ liegen een gevolg van de relatie, van het feit dat de Cretenzer deel uitmaakt van de klasse van de Cretenzers. Dit is dus een interne beschrijving.
- 2) Als wat de Cretenzer zegt een leugen is (ten gevolge van de interne beschrijving) dan is hij geen leugenaar (inhoud van wat hij zegt). Hier wordt bepaald of de Cretenzer een leugenaar is of niet door na te gaan of hij al dan niet een bepaalde eigenschap bezit. Dit is een externe beschrijving.

Cruciaal bij de paradox is dus dat we de Cretenzer kunnen opvatten in een interne en een externe beschrijving. Maar daarmee is het nog geen paradox. Beschouw immers het volgende voorbeeld: Alle Cretenzers zijn lelijk:

- 1) De Cretenzer is zelf ook een Cretenzer en zal bijgevolg lelijk zijn. (interne beschrijving)
- 2) Of hij al dan niet lelijk is, kan afgemeten worden aan externe maatstaven, die niets te maken hebben met het feit of hij al dan niet Cretenzer is. (externe beschrijving)

We zien dat de paradox hier niet opduikt. Wat is er dan zo speciaal aan de paradox? Het verschil tussen de paradox van de lelijkaard en de leugenaar is dat de eerste geen ‘verandering’ creëert door zijn externe beschrijving, terwijl dat in het geval van de leugenaar wel is. Door de uitspraak te doen creëert de Cretenzer een verandering niveau 2, hij wijzigt de basisassumpties van de interne relatie, waarvan hij zelf deel uitmaakt. Dat is niet zo in het geval van de lelijkaard. Het doen van een uitspraak wijzigt hier niets aan het al dan niet lelijk zijn.

Schematisch ziet de paradox er als volgt uit:



In dit schema wordt duidelijk hoe een intern verband op systeemniveau aanleiding geeft tot liegende Cretenzers op elementair niveau. (1) Vertalen dit naar een externe beschrijving, dan vinden we twee externe predicaten nl. leugenaar zijn en Cretenzer zijn. (2) We kunnen deze twee terug bij elkaar voegen in een extern verband. (3) Laten we bovendien de Cretenzer een uitspraak doen dan voegen we bij dit verband ook nog eens de waarheidsfunctie, aan externe maatstaven afgemeten. (4) Hiermee wordt eigenlijk de relatie tussen Cretenzer zijn en liegen, met daarbij de waarheidsfunctie geherdefiniëerd ten opzichte van het oorspronkelijke interne verband. (5)

We kunnen nu verklaren waarom de Cretenzer liegt en niet liegt:

- 1) Vertrekkend van de veronderstelling dat wat de Cretenzer zegt juist is: we vertrekken dan van de interne relatie Cretenzer-leugenaar en vertalen het intern predicaat leugenaar naar het extern predicaat en stellen vast dat hij liegt. (taalniveau n)
- 2) Vertrekken we echter van de meta-uitspraak, (taalniveau $n+1$), dan merken we dat deze uitspraak een verandering 2 is van de relatie Cretenzer-Leugenaar.

De stelling van Tarski dat taalniveaus niet mogen worden verward, betekent dus dat de uitspraak op $n+1$ niveau een ‘verandering 2’ is ten opzichte van de interne relatie in het niveau n . De paradox ontstaat omdat de Cretenzer een onderdeel is van de interne relatie. Anderzijds doet hij binnen de externe beschrijving een uitspraak over de interne relatie waarin hij zelf zit.

We kunnen de paradox nu ook verklaren als een tegenstelling tussen een predicaat opgevat als intern én als extern predicaat. De vraag die we ons stellen: is de Cretenzer een leugenaar opgevat als extern predicaat of bestaat er een bepaalde relatie, die hem als leugenaar bestempelt? Wanneer we ervan uitgaan dat er een relatie is tussen Cretenzer zijn en leugens vertellen dan spreken we van een intern predicaat. Het geldt slechts zolang de relatie geldig is. Gaan we er echter vanuit dat het Cretenzer zijn en leugenaar-zijn optelbare eigenschappen zijn, die gelden of niet, dan spreken we van een extern predicaat.

Een derde soort paradoxen zijn pragmatische paradoxen. Reichenbach geeft volgend voorbeeld van een pragmatische paradox: de barbier is een soldaat die van zijn kapitein het bevel krijgt om alle soldaten van de compagnie te scheren die zichzelf niet scheren, maar geen andere. (Reichenbach, geciteerd in Watzlawick e.a., 1970, blz. 173) De essentiële elementen van deze situatie zijn de volgende:

- 1) Een krachtige complementaire relatie (tussen soldaat en zijn kapitein)
- 2) Binnen deze relatie wordt een bevel gegeven dat moet worden opgevolgd, maar dat juist niet moet worden opgevolgd om te kunnen worden opgevolgd (het bevel definieert de soldaat alleen dan als een zelscheerder als hij zichzelf niet scheert en omgekeerd)
- 3) De soldaat kan niet buiten de paradox treden door erover te metacommuniceren (dit zou neerkomen op ‘insubordinatie’)

Kenmerkend voor deze paradoxen is dat ze logisch gezien een betekenisloze inhoud brengen, maar aan de andere kant definiëren ze de betrekking van zichzelf tot de ander. Hoewel de

inhoud er dus niet toe doet, kan het bevelaspect noch terzijde geschoven worden, noch duidelijk begrepen.

Op pragmatisch vlak is het belangrijkste onderscheid tussen tegenstrijdige en paradoxale bevelen, dat men in het eerste geval een van beide mogelijkheden kiest en het alternatief verliest. Een keuze blijft echter logisch mogelijk. Het paradoxale bevel daarentegen ondermijnt de keuze zelf, niets is meer mogelijk en een zelfbestendigend, oscillerend proces wordt in gang gezet. (Watzlawick e.a., 1970, blz. 192)

Zolang we binnen dit niveau blijven, zal er niets veranderen. De interne relatie blijft geldig (interne verandering). We hebben gezien dat een verandering van de interne relatie pas kan, indien ze ongeldig wordt gemaakt. Dit kan enkel wanneer we naar een volgend niveau gaan. Om een interne relatie op elementair niveau te wijzigen, moeten we een paradox creëren, door op het systeemniveau een herkadring van het geheel te geven, waardoor via de interne relatie ook de onderdelen in een ander verband staan. Een herkadring van het geheel is een externe beschrijving van het geheel.

1.8. Complementariteit en evolutie

Het complementair samenspel van interne en externe relaties kan ook als verklaring dienen voor 'evolutie'. Evolutie betekent hier de evolutie van ruwe materie tot bacteriën en leven naar hogere levensvormen en uiteindelijk de cultuur waarin wij leven.

We vertrekken van de basisveronderstelling dat alles, van atomen tot menselijke samenlevingen streven naar harmonie met de omgeving. Deze harmonie vertaalt zich in 'het zichzelf herhalen. Als we ervan uitgaan dat er oorspronkelijk geen diversiteit in materie was, dan bestond deze harmonie uit niet meer dan absolute zichzelf bestendigende uniformiteit. We kunnen het vergelijken met de toestand van gasmoleculen, die zich uniform verdelen over een gesloten ruimte. Bij gebrek aan diversiteit in gedrag en aard van de moleculen is deze uniforme verdeling de meest waarschijnlijke mogelijkheid om een harmonische interne relatie te krijgen, waarin iedere gasmolecule zichzelf oneindig kan herhalen en bestendigen. Op één of andere manier moet deze uniforme verdeling, deze allereerste interne relatiestructuur verstoord zijn. Er trad een verandering op niveau 2 op, zodanig dat de interne relatiestructuur niet meer geldig was en er een nieuwe moest worden gevonden. Deze nieuwe interne relatie bestendigde zich weer zolang tot externe factoren noopten tot een nieuw evenwicht.

Op basis van dit schema kunnen we nu onderscheid maken tussen verschillende fasen in de evolutie. We kunnen ook deze verschillende fasen nu nog terugvinden. Zo zien we in de materiële wereld sporen van uniformiteit. Daar waar de uniforme interne relatie niet gestoord werd, is deze relatie gekristalliseerd tot een externe relatie. Het is als het ware een verstarde interne relatie geworden, die niet meer meespeelt in het evolutiespel. We hebben het dan over de wereld van de biljartballen, zandkorrels, kristallen enz. Willen we de interne relatie hier wijzigen dan is er een grote externe druk nodig (zoals zal blijken bij systemen ver uit evenwicht). Daarnaast bestaan er systemen, die een grote capaciteit hebben verworven om zichzelf 'aan te passen'. Ze zijn in staat om voortdurend op zoek te gaan naar nieuwe interne relaties om zichzelf te handhaven. Deze voortdurende handhaving is kenmerkend voor levende systemen. Kenmerkend voor leven is dus dat het niet per se een eigenschap van materie is, maar wel van de 'organisatie' van die materie, namelijk de capaciteit om onder druk van de paradox tussen de externe en de interne relatie de interne relatie te wijzigen en te evolueren naar een nieuw (complexer) evenwicht. Ik wil dit illustreren aan de hand van Langtons onderzoek naar kunstmatig leven. (Langton in Waldrop, 1994, blz. 221-230)

Langton vroeg zich af hoe het komt dat je met bepaalde regeltabellen van cellenautomaten interessante structuren kunt bouwen en met andere niet; Wat hem vooral fascineerde was Wolframs bewering dat alle regels voor cellenautomaten in vier *equivalentieklassen* vallen:

Klasse I) hierbij zal alles, ongeacht de configuratie dood zijn binnen twee of drie stappen. In termen van dynamische systemen hebben deze regels één puntattractor.

Klasse II) hier bevatten de regels al wat meer leven, maar niet veel. Een aanvankelijk patroon met levende en dode cellen, willekeurig verspreid, zal al snel klonteren tot een reeks statische blokken, waarbij hoogstens een paar blokken periodiek oscilleren. In termen van dynamische systemen heet het dat die regels in een verzameling met periodieke attractoren vallen.

Klasse III) hier wordt zoveel activiteit geproduceerd dat het scherm lijkt over te stromen. Niets is nog stabiel of voorspelbaar: structuren waren nauwelijks gevormd of ze werden weer opgebroken. In de taal van dynamische systemen corresponderen de regels met vreemde attractoren, ook chaos genoemd.

Klasse IV) hierin werden coherente structuren geproduceerd, die zich voortplanten, die groeien, delen en zich op een schitterend complexe wijze recombineren. In de taal van dynamische systemen was er niets dat zelfs maar in de verte leek op een regel van Klasse IV.

Langton ging onderzoeken wat de onderlinge relaties waren tussen de klassen van Wolfram en wat bepaalde tot welke klasse een regel behoorde.

Net zoals er in de vergelijkingen van dynamische systemen parameters bestaan, die als een soort afstemknop fungeren om te bepalen hoe chaotisch het systeem is, zocht hij naar een parameter voor cellenautomaten. Hij ontdekte dat hij met een simpele parameter, voorgesteld door de Griekse letter Lambda, nl. de kans dat een willekeurige cel in een volgende generatie nog 'levend' zou zijn, kon bepalen in welke klasse een systeem zou vallen. Om de parameter te testen schreef hij een programma en onderzocht systematisch de verschillende waarden. Bij zeer lage waarden vond hij slechts de dode, statische Klasse I-regels. Naarmate hij de waarden een beetje verhoogde begon hij periodiek Klasse II-waarden tegen te komen. Bij de waarde 0,5 kwam hij in de totale chaos van Klasse III terecht. Maar precies tussen Klasse II en III, dicht rondom de magische 'kritische' waarde van lambda (ongeveer 0,273) vond hij compacte opeenhopingen van complexe Klasse IV-regels. De Klasse IV-regels bevonden zich dus precies op het overgangspunt:

$$I \& II \rightarrow IV \rightarrow III$$

Deze volgorde suggereerde dat er in dynamische systemen een overgang zat:

$$\text{Orde} \rightarrow \text{Complexiteit} \rightarrow \text{Chaos}$$

waarbij complexiteit staat voor het onvoorspelbare dynamische gedrag dat door automaten van Klasse IV wordt voortgebracht.

Dit deed Langton denken aan faseovergangen. Bij gewone faseovergangen is de overgang echter abrupt, zoals bij de overgang van ijs naar water. Bij 0°C worden de moleculen gedwongen een of/of keuze te maken tussen orde en chaos. Dit zijn zogenaamde eerste-orde-faseovergangen. Er bestaan echter ook tweede-orde-faseovergangen, waarbij de moleculen geen of/of-keuze hoeven te maken, maar orde én chaos combineren. Langton had hiermee een derde analogie:

$$\text{Vaste stof} \rightarrow \text{faseovergang} \rightarrow \text{vloeistof}$$

Ten slotte stelt Langton dat de faseovergang aan de rand van chaos correspondeert met wat computertheoretici 'onbeslisbare' algoritmen noemen. Er is zelfs een wiskundige stelling, de 'onbeslisbaarheidsstelling' die in de jaren dertig werd bewezen door de Britse logicus Alan Turing. Deze stelling zegt dat hoe slim je ook denkt te zijn, er altijd een algoritme is dat

onvoorspelbare dingen doet. De enige manier om aan te weet te komen wat het doet, is het te laten lopen.

Langton had nu vier zeer gedetailleerde analogieën:

| | | | |
|------------------------------|------------|----------------|----------------|
| Klassen van cellenautomaten: | I&II | → IV | → III |
| Dynamische systemen: | Orde | → Complexiteit | → Chaos |
| Materie: | Vaste stof | → Faseovergang | → Vloeistof |
| Computatie: | Stoppen | → Onbeslisbaar | → Niet-stoppen |

Daaraan voegde hij een vijfde veel hypothetische:

| | | | |
|--------|-------------|-----------------------|----------------|
| Leven: | Te statisch | → Leven/Intelligentie | → Te veel ruis |
|--------|-------------|-----------------------|----------------|

Hieraan wil ik nu nog een analogie toevoegen, namelijk

| | | | |
|------------|---------|---------------------|-----------|
| Relaties : | Externe | → Complementariteit | → Interne |
|------------|---------|---------------------|-----------|

Dat betekent dus dat het juist de wisselwerking tussen externe en interne relatie is die cruciaal is voor leven, intelligentie, onbeslisbaarheid... In het schema van blz. kunnen we Wolframs klassen als volgt uitleggen. In klassen I en II zijn er vanuit de interne relatie stabiele entiteiten ontstaan, die eens geëxternaliseerd tot dingen met eigenschappen niet meer kunnen veranderen. In klasse III is de interne relatie niet in staat om aanleiding te geven tot stabiele structuren. In klasse IV vinden we het juiste evenwicht tussen interne en externe beschrijving. Er ontstaan min of meer stabiele eenheden, maar ze hebben nog genoeg flexibiliteit om onder druk van verandering twee te evolueren naar een nieuw intern evenwicht.

1.9. Stellingen

We kunnen nu het geheel in een aantal definities en stellingen samenvatten:

Definities:

- 1) Een externe beschrijving vertrekt vanuit substantiële entiteiten. Relaties zijn secundair.
- 2) Een interne beschrijving vertrekt vanuit de relatie. Substantiële entiteiten zijn secundair.
- 3) De relatie die we gebruiken om de werkelijkheid intern te beschrijven noemen we de interne relatie.
- 4) De relatie die we gebruiken om de werkelijkheid extern te beschrijven noemen we de externe relatie.

Stellingen:

- 1) De interne en de externe beschrijving zijn complementair, dat wil zeggen sluiten elkaar uit maar zijn beide nodig om de realiteit te verklaren.
 - a. De complementaire eigenschappen zijn: nadruk op substantie/nadruk op relatie; propositie/functie; digitaal/analoo; geheel = som van de delen/ holistisch geheel; niveau $n+1$; niveau n ; expliciete betekenis/impliciete betekenis; juiste of foute beweringen/ambigue beweringen; discretie/continuïteit.
 - b. Wanneer we overschakelen van een interne naar een externe beschrijving verdwijnt het interne verband.
 - c. Wanneer we overschakelen van externe naar interne beschrijving veranderen we het interne verband (verandering 2 van Watzlawick).
 - d. Als er bij de vertaling van externe naar interne beschrijving zelfreferentie is, krijgen we een paradox.
- 2) In de werkelijkheid zorgt de wisselwerking tussen interne en externe relaties voor vernieuwing en evolutie. Kenmerkend voor 'levende systemen' is de capaciteit om deze wisselwerking in stand te houden.

- a. Wanneer er geen verandering meer mogelijk is in de interne relatie, dan wordt alles extern. We krijgen dan een zeer ordelijke wereld van 'entiteiten'.
- b. Wanneer de interne relatie zo veranderlijk is dat er geen vertaling naar externe 'entiteiten' mogelijk is, krijgen we een zeer chaotische wereld.

2. Complementaire kennis

2.1. Inleiding

De wetenschapper die de negentiende-eeuwse natuurkundige voor ogen had was een soort objectief kijkend ontlichaamd oog. De critici van deze visie vervielen vaak tot een andere extreme positie. Zo werd het principe van onbepaaldheid van Heisenberg vaak gebruikt om een soort subjectivisme te demonstreren, waarmee het subject de wereld zou construeren. Noch de positie van de ontlichaamde observator noch die van de ontwerelde geest is houdbaar. In onze westerse wetenschap is er echter geen methodologische basis voor een middenweg tussen objectivisme en subjectivisme. Hierin wil ik een bijdrage leveren en een basis leggen voor zo'n middenweg, een tussenruimte waarin object en subject mekaar ontmoeten en met elkaar verbonden zijn.

2.2. Evolutie van kennis in wetenschap

2.2.1. Het empirisch-rationeel fundament van wetenschappen

We kunnen stellen dat wetenschap tot stand komt op basis van 'rationele overwegingen' en empirische vaststellingen. De rationele overwegingen zijn wiskundige en logische uitspraken die zelfevident zijn. Empirische uitspraken zijn gebaseerd op waarnemingen van de realiteit.

2.2.1.1. Het rationeel fundament

Griekse denkers ontwikkelden een abstracte meetkunde en een wiskunde. De getallen en figuren die het voorwerp uitmaakten van deze studie leidden als het ware een zelfstandig leven, los van de objectieve realiteit. Toen Pythagoras ontdekte dat er een relatie is tussen de lengte van de snaren van muziekinstrumenten en de harmonische combinatie van de geluiden die ze voortbrachten, bleek voor het eerst dat een fysisch fenomeen kan worden beschreven door een mathematische wet. Pythagoras beseftte dat veel dingen kunnen worden uitgedrukt d.m.v. het getal. De harmonie in de wiskunde leek dan de harmonie te zijn waarnaar zolang werd gezocht. Pythagoras besloot dat het getal de essentie van alles is. De Grieken gingen dus de kosmos opvatten als een mathematische constructie. Zij gingen ervan uit dat de volmaakte mathematische figuren en verhoudingen misschien de fundamentele vormen van het bestaan zijn, de absolute realiteit. Al vlug zag men in dat de realiteit slechts een flauwe

afspiegeling is van deze mathematische harmonie. Iedere cirkel is bijvoorbeeld slechts bij benadering een perfecte cirkel. Plato maakte daarom onderscheid tussen de wereld van de Ideeën met zijn perfecte cirkels en onveranderlijke verhoudingen enerzijds en de concrete realiteit anderzijds.

Wiskunde is rationele kennis, een resultaat van ons denken. De vraag is nu hoe de mathematica in verhouding staat tot de concrete wereld. In hoeverre kan de wiskunde die uitsluitend voortspuit uit de activiteit van het subject iets zinnigs zeggen over de objectieve realiteit.

Veel rationalisten zoals Descartes, Leibnitz en Spinoza betoogden dat kennis mogelijk is louter op basis van een deductie van ideeën die in onze geest aanwezig zijn. Rationalisten beschouwden de zintuiglijke waarneming als onbetrouwbaar. Kant was een van de eersten die inzag dat men op basis van rationalisme alleen niet kan komen tot objectieve en onbetwifelbare kennis. Hij had bijvoorbeeld jaren lang geprobeerd de fysica van Newton in een wijsgerig rationalisme te integreren. Newton had echter in zijn natuurwetenschap een ruime plaats toegekend aan het experiment en de inductie. De pogingen van Kant om deze ervaringsgegevens rationeel te verklaren, bleven zonder resultaat.

2.2.1.2. *Het empirisch fundament*

In tegenstelling tot de rationalisten gingen empiristen ervan uit dat enkel ervaring de bron kan zijn van kennis. Algemene waarheden konden volgens hen pas ontstaan door een inductieve redenering toe te passen op de opgedane ervaringen. Het was echter juist deze inductie die voor het meeste problemen zorgde. Zo verwierp Hume het denkbeeld dat empirisch gevonden wetmatigheden een noodzakelijke waarheid uitdrukken. De vaststelling dat tot nu toe de zon elke dag opkwam, biedt geen zekerheid dat dat morgen ook nog zal gebeuren. Het probleem is dat de ervaring als zodanig altijd te maken heeft met het particuliere, niet met het universele.

2.2.1.3. *De alliantie tussen rationalisme en empirisme*

De wetenschap heeft zich door de twijfel en het onoplosbaar probleem van de inductie niet laten blokkeren. Men poogt te roeien met de riemen die men heeft. In praktijk komt dit erop neer dat zowel rationalisme als empirisme een bijdrage leveren tot de wetenschappelijke bedrijvigheid.

Wiskunde wordt dan vaak gezien als een instrument voor het uitdrukken van de inzichten in natuurwetenschappen. Dit betekent dat we op basis van wiskundige technieken kunnen

komen tot theorieën die de rationaliteit uitdrukken van de wereld die we ervaren. Het lijkt dan echter of er al een rationaliteit aanwezig was in de waarnemingsgegevens. D.m.v. de wiskunde en het rationalisme ‘ontdekken’ we deze intelligibiliteit. Het omgekeerde is echter het geval. Dit werd vooral door Kant benadrukt. We ‘ontdekken’ geen rationaliteit of een ordening in een object dat buiten ons staat. Als kennend subject leggen we de objecten een ordening en een rationaliteit op.

De structuur die we aan de kennisobjecten toekennen zal van invloed zijn op de waarneming. Waarnemingen zijn theoriegebonden. Het is dus belangrijk in te zien dat de rationele en empirische elementen in het kennisproces niet los van elkaar staan. Er is een continu dialectisch proces dat het rationalisme en het empirisme verenigt.

2.2.2. Kennistheoretische complementariteit

We moeten een onderscheid maken tussen de interne en externe beschrijving van de natuur enerzijds en de interne en externe relatie tussen subject en object tijdens de beschrijving.

Wanneer we zeggen dat we een interne of externe beschrijving van de natuur maken, dan gaan we ervan uit dat de natuur onafhankelijk van ons kan worden beschreven. We beschrijven de natuur op basis van interne of externe relaties **tussen de objecten**. Dit veronderstelt dus dat er een externe relatie is **tussen object en subject**. Anderzijds is de act van het beschrijven zelf een activiteit, die een relatie impliceert tussen object en subject. Deze relatie kan intern of extern zijn. Bij een interne relatie tussen object en subject, gaan we ervan uit dat de relatie primeert. Wat kennis betreft gaat het dan om een soort ‘direct’ kennen. Abstracte wiskunde is daar mijn inziens een voorbeeld van, maar ook intuïtie en stille kennis van Polanyi (1967). Polanyi’s stille kennis is een proces waarbij kennis ontstaat uit onbewuste stukjes uit de omgeving opgenomen ervaring. Het gaat om een proces van ‘osmose’ waarbij men pas door de overgave aan ervaring een inzicht krijgt. Polanyi geeft het voorbeeld van de studie van röntgenanalyse. In ’t begin betekenen de vlekken helemaal niets, maar na een tijdje worden de details betekenisvol en pas dan ziet de student een rijk panorama van littekens, chronische infecties en tekens van ziekte. Pas met de overgave aan de ervaring beginnen de foto’s betekenis te krijgen. Pas dan ziet de student meer dan alleen maar vlekken. Voor Polanyi is ‘stille kennis’ niet zomaar een soort kennis: alle kennis is ofwel stille kennis ofwel geworteld in ‘stille kennis’.⁶

Bij een externe relatie gaat het om de kennis, die we verkrijgen als ‘afstandelijke waarnemer’.

⁶ Polanyi’s kennistheorie is veel rijker dan ik hier in kort bestek kan weergeven.

Enerzijds is er dus de epistemologische eis om kennis te verkrijgen als onafhankelijke waarnemer (externe kennisrelatie). Anderzijds is er het ontologische feit dat er altijd een interne relatie blijft bestaan tussen object en subject. (interne kennisrelatie)

2.3. *Wat is kennis?*

2.3.1. Geobjectiveerde kennis

Men kan stellen dat wetenschap in de huidige betekenis is ontstaan met de opsplitsing tussen subject en object. De “mytische” mens kende nog geen onderscheid tussen zichzelf en de buitenwereld, tussen object en subject. Vandaar dat hij de natuur zag als een soort levend organisme waarvan hij ook zelf deel uitmaakte. Kennis was dan meer een soort aanvoelen en invoelen. De wereld en de manier waarop men de wereld ervoer was hetzelfde. De eigen gevoelstoestand en de toestand van de wereld rondom waren nog volledig verstrengeld. Zo had de mytische mens ook geen besef van een autonoom bewustzijn. We vinden bijvoorbeeld bij Homeros een psychologische situatie waarin beslissingen en handelingen van helden hun oorsprong vinden niet in de plannen, overwegingen of doelstellingen van de mensen zelf, maar in die van uitwendige krachten d.w.z. de goden. (De Ley, 1985, blz. 169)

Heracleitos zet de eerste stap naar een zekere mate van geestelijke autonomie. Hij suggereert nl. voor het eerst in onze cultuur een psychologische ziel in de mens, die kan gekarakteriseerd worden door zulke subtiële en onaantastbare kwaliteiten als diepte, spontaneïteit, en die enkel door introspectie kan gevat worden. (De Ley, 1985, blz. 183) Deze ontwikkeling zal na Heracleitos leiden tot een volledige scheiding tussen innerlijk zelf en omringende buitenwereld en uiteindelijk tot het principiële onderscheid tussen object en subject.

Met deze opsplitsing is er ook een verschuiving gekomen naar het zoeken naar eenheid. Heracleitos zocht nog een eenheid die subject en object overspanden, een soort eenheid, die beide verenigt op een hoger niveau. Men wilde een eenheid waarin zowel de wereld als de mens een plaats kregen en waarin de plaats van de mens begrijpelijk werd.

In het wetenschappelijk denken daarentegen beperkt het zoeken naar eenheid zich tot de objectzijde. Men wenst immers ‘objectieve kennis’. Naarmate men ontdekte dat het menselijk subject zichzelf kan bedriegen wat betreft zijn waarneming t.o.v. de buitenwereld, heeft men zoveel mogelijk geprobeerd ‘subjectieve invloeden’ uit de wetenschappelijke bedrijvigheid te weren. Men zal dan proberen de wereld te ‘objectiveren’. Men construeert concepten, operationele definities maar dit zijn dan nog slechts lege begrippen. Roszack

omschrijft de concepten van de moderne wetenschap als begrippen die ontdaan zijn van hun ‘rootmeaning’. Hij geeft het voorbeeld van het begrip ‘vliegen’. Terwijl dit voor de mens altijd een droom was, een fantastisch avontuur, impliceert dit nu niet meer dan enkele vervelende uren in een vliegtuig, die we het liefst zo vlug mogelijk achter ons willen hebben. (Roszack, 1974, blz. 346 e.v.) De rootmeaning is meer dan een operationeel of wetenschappelijk begrip, hoewel het niet meer informatie bevat. De rootmeaning is het wetenschappelijk begrip én ervaring. Roszack omschrijft het als volgt:

“knowledge deepened and personalized by the impact of urgent experience, but without increase of information”. (Roszack, 1974, blz. 381)

De rootmeaning kan dus in principe niet geoperationaliseerd worden, want als we het operationaliseren verdwijnt de ervaring. Er blijft alleen een leeg begrip over. Iedereen kent het syllogisme:

Alle mensen zijn sterfelijk

Ik ben een mens

Ik ben dus sterfelijk

In Tolstoj’s roman: “De dood van Ivan Iljitsj” blijkt dat dit syllogisme door de hoofdpersoon pas in zijn rootmeaning wordt begrepen wanneer hij geconfronteerd wordt met zijn eigen dood. Vanaf dat moment lijkt het syllogisme een heel andere, meer existentiële betekenis te krijgen. Pas dan dringt de impact van het syllogisme door: de dood krijgt haar rootmeaning terug.

Een begrip dat ontdaan is van zijn rootmeaning kan nog enkel betekenis ontleen uit het netwerk waarin het met andere begrippen is verweven. De betekenis van deze begrippen wordt niet meer bepaald door de ‘realiteit’ waarnaar ze verondersteld worden te verwijzen maar door een code. Eigenlijk betekenen ze in existentiële zin niets (meer), maar hebben alleen nog een bepaalde waarde in een conceptueel systeem.

Zo is bijvoorbeeld ook het wetenschappelijk tijdsconcept een vreemd concept geworden omdat we er onze tijdservaring niet in terug vinden. Meer zelfs, het wetenschappelijk concept waarin geen onderscheid wordt gemaakt tussen verleden, heden en toekomst lijkt een negatie te zijn van wat wij ervaren en begrijpen van tijd.

De eenheid in de positieve wetenschappen is een ‘reducerende’ eenheid. Hiermee bedoel ik dat de elementen waarvan men een eenheid zoekt, worden ontdaan van de kwaliteiten waardoor ze van elkaar verschillen en herleid tot een gemeenschappelijke basis. De ‘transcendente’ eenheid daarentegen neemt de verscheidenheid van de constituerende elementen in zich op en brengt ze op een hoger niveau.

Dit reductionisme geeft aanleiding tot ‘dichotomiedenken’, d.w.z. tegenstelling zoals leven-dood, materie-geest, subject-object kunnen niet meer herleid worden tot een hogere eenheid. Ze worden nog louter geponeerd in termen van het contradictiebeginsel. Het ene wordt gedefinieerd als negatie van het andere. Wat in tegenstrijd is met de objectieve, wetenschappelijk visie wordt dan ook bestempeld als subjectief, dus niet reëel.

2.3.2. Grenzen aan de kennis

Vaak wordt een onderscheid gemaakt tussen de ontologische wereld en de door ons gekende wereld. Dit onderscheid berust op het inzicht dat onze kennis relatief is, d.w.z. we kunnen nooit zeker zijn dat wat we kennen ook overeenkomt met de ontologische realiteit. Kennisverwerving is immers altijd een activiteit van het subject, dat van het object volledig gescheiden lijkt te zijn. Verschillende filosofen en wetenschappers hebben op dit onderscheid gewezen. Zo stelt Kant dat we in feite enkel objecten kennen zoals ze voor ons verschijnen. Het Ding an Sich daarentegen is voor ons niet kenbaar. Einstein drukt het op volgende manier uit:

“Natuurkundige concepten zijn vrije scheppingen van de menselijke geest en ze worden niet, hoewel dit soms zo lijkt, uitsluitend bepaald door de buitenwereld. In ons streven de werkelijkheid te begrijpen, lijken we een beetje op de man die het mechanisme van een gesloten horloge probeert te doorgronden. Hij ziet de wijzerplaat en de bewegende wijzers, hij hoort het zelfs tikken, maar hij is niet in staat om het instrument te openen. Als hij vindingrijk is, kan hij zich een beeld vormen van een mechanisme dat verantwoordelijk is voor alles wat hij waarneemt, maar hij zal er nooit helemaal zeker van zijn dat zijn voorstelling de enige is die zijn waarneming verklaart. Nooit zal hij in staat zijn zijn voorstelling van zaken te vergelijken met het echte mechanisme en hij kan zich zelfs de mogelijkheid van de betekenis van zo’n vergelijking niet voorstellen.” (Einstein en Infeld, in Zukav., 1987, blz. 43)

De relativiteit van onze kennis is een gevolg van de strikte principiële scheiding tussen subject en object. Op basis van zintuiglijke waarnemingen, waarachter de werkelijkheid

schuilgaat, poogt men die realiteit te kennen. We moeten dus steeds via de omweg van de waarneming. De vraag die zich opdringt is dan hoe de objectieve werkelijkheid, de waarnemingen en de theorieën zich tot elkaar verhouden. Hoe kunnen we zeker zijn dat wat wordt waargenomen een aspect is van de realiteit en niet een kenmerk van de manier waarop we waarnemen? Het antwoord is dat we daar nooit zeker van kunnen zijn. Wel is het mogelijk de invloed van subjectieve factoren, d.w.z. factoren in de waarneming die te wijten zijn aan het kennend subject en niet verwijzen naar een kenmerk in de realiteit, te beperken. Zo zullen we bijvoorbeeld de temperatuur niet waarnemen aan de hand van ons gevoel, of we het koud of warm hebben. Of onze kennis echter van toepassing is op de ‘ontologische realiteit’ kan enkel bewezen worden indien we kunnen aantonen dat er een overeenstemming is tussen onze theorieën en deze realiteit. We zullen dit in principe nooit echt kunnen ‘bewijzen’. We kunnen enkel aantonen dat er een overeenstemming is tussen de theorieën en de waarneming. Onze waarneming is echter vaak theoriegebonden.

Niettemin gaan veel natuurkundigen er toch van uit dat er een werkelijkheid bestaat onafhankelijk van de waarnemer en dat kennis van deze realiteit mogelijk is. Zo stelde Boltzmann in 1900 dat het atomisch model meer was dan een ‘model’ van de werkelijkheid. Atomen bestaan volgens hem ook reëel. (Kroes, 1996, blz. 7)

Daartegenover staat de opvatting van mensen zoals Mach die stelt dat we geen uitspraak kunnen doen over de realiteit achter de verschijnselen. De idee dat er achter de sensatie een ontologische realiteit schuilgaat wijst Mach af. De hele kwestie of er een externe werkelijkheid bestaat onafhankelijk van de waarnemer is voor hem zinloos omdat het antwoord daarop op geen enkele wijze op basis van waarnemingen geverifieerd kan worden.

Men staat dus voor de keuze tussen een realistische zienswijze en een positivistische. In de realistische visie gaat men ervan uit dat geaccepteerde fysische theorieën een beschrijving geven van hoe de fysische werkelijkheid in elkaar zit. De positivistische visie gaat ervan uit dat het construeren van modellen van de ontologische werkelijkheid een zinloze activiteit is en stelt dat de wereld van de waarnemingen de enige wereld is waarvan men het bestaan mag aannemen. Belangrijk hierbij is dat de keuze voor één van beide tevens een keuze betekent voor het doel dat men voor ogen heeft met wetenschap. In de realistische visie kan de ontologische realiteit beschreven worden zodat de waargenomen verschijnselen erdoor verklaard worden. De positivistische visie zal echter moeten verzaken aan het doel verklaringen te willen geven vermits er enkel de waargenomen wereld is. Ze kunnen wel proberen de wereld der verschijnselen zo coherent mogelijk te beschrijven zodat er reden is

om aan te nemen dat ze de realiteit in grote mate kunnen benaderen. Op die manier kunnen zij ook de realiteit bij benadering verklaren. Er blijft echter een belangrijk verschil in filosofische achtergrond tussen positivisten en realisten. Er kan dan worden gesteld dat de eersten de waarheid nastreven terwijl dit doel voor de positivisten slechts secundair is t.o.v. de eis tot doeltreffendheid.

2.3.3. Definitie van kennis

In de meest algemene definities van kennis komen meestal drie elementen voor:

“According to the most widely accepted definition, knowledge is justified true belief” (Edwards, 1972, blz. 345))

“Knowledge is true, warranted belief” (Craig, 1998, blz. 268)

Uit deze definities leren we dat:

- kennis wordt gelijkgesteld met bepaalde opvattingen (‘beliefs’);
- deze opvattingen moeten waar zijn;
- bovendien moeten de ware opvattingen gerechtvaardigd zijn (gebaseerd op correcte redeneringen)

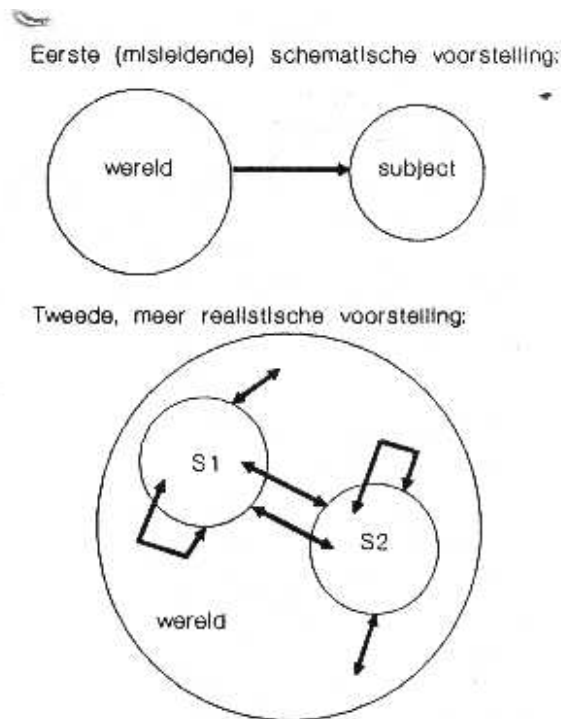
Verder is het belangrijk om op te merken dat in deze definities van kennis vooral nadruk wordt gelegd op ‘kennisinhoud’.

2.3.4. De kennisrelatie

In de traditionele kennisrelatie staan het gekende, het object en het kennende, het subject in een enkele relatie tot elkaar. Het object, dat deel uitmaakt van de wereld is het materiaal dat daar onaangeroerd ligt om door het subject te worden onderzocht, beschreven etc. M.a.w. de wereld is niets meer dan een verzameling aan data die door het subject worden beschreven. Batens (1992, blz. 18) merkt zeer terecht op dat deze visie misleidend is:

“Om te beginnen zijn er meerdere kennende subjecten. Ten tweede, zij maken deel uit van de wereld. Ten derde en hiermee samenhangend, zij doen ook kennis op over zichzelf en over andere kennende subjecten. Ten vierde, de kennisrelatie komt niet neer op een passief opnemen van gegevens, maar is een actieve relatie. (...) Wat (...) ook meteen duidelijk wordt is dat niet alleen de kennende subjecten, maar ook hun kennis en de kennisrelatie tot de wereld behoren.”

Batens vat de twee voorstellingen van de kennisrelatie samen in volgende schematische voorstellingen: (Batens, 1992, blz. 19)



FIGUUR 1. Twee schema's voor de kennisrelatie.

2.3.5. Subject en object nader bekeken

In wat vooraf ging heb ik al geargumenteed dat 'substanties' of 'dingen' eigenlijk constructies zijn om ons mogelijk te maken over de werkelijkheid na te denken. Ook Mach dacht er zo over volgens Richard Von Mises

“To explain something means to trace something complicated back to something simple, and not the other way around. ‘Body’ or ‘thing’ is a thought symbol and the linguistic expression of a relatively stable combination of tactile and visual impressions linked to certain impressions of time and space.” (Richard Von Mises in Cohen and Seeger, 1970, blz. 262)

De ‘substantie’ categorie of het denken in termen van dingen is enkel een praktisch middel om ons te oriënteren in de omgeving.

Zo is ook het ‘object’ uit de kennisrelatie een geconstrueerde eenheid. Ik vertaal het als ‘het iets of het ding dat wij als voorwerp van kennis nemen’.

Anderzijds is ook het ‘subject’ een geconstrueerde eenheid.

2.3.6. De kennisrelatie opnieuw

Als zowel object als subject constructies zijn die voortvloeien uit ons eigen denken, onze praktische omgang met de wereld, hoe ziet dan de kennisrelatie eruit? Het blijkt dan een relatie te zijn tussen twee constructies, die het resultaat is van onze manier van omgaan met de wereld. De geschiedenis toont inderdaad aan dat deze relatie slechts geleidelijk tot stand kwam en met Descartes als een dualiteit werd geponeerd. Vanaf dat moment wordt de kennisrelatie ook problematisch. Hoe kan je zekerheid verkrijgen over ware kennis? Hoe kan wat absoluut gescheiden is weer verenigd worden in een kennisrelatie?

2.3.7. Kennis: nieuwe definitie

De gangbare defintie van kennis is ‘substantiekennis’. Daarmee bedoel ik dat kennis gelijkstaat met kennisinhouden (true warranted beliefs). Het is datgene wat het geconstrueerde subject te weten komt over het geconstrueerde object. Het is ook ‘externe’ kennis. Datgene wat gekend wordt en het kennende subject hebben immers geen enkele invloed op elkaar. Ze bestonden voor de kennisrelatie al en de kennisrelatie heeft geen enkele invloed op object noch op subject. Of ten minste, dat is het nagestreefde ideaal. Dit kennisconcept ging uit van drie assumpties:

1. Dat we leven in een wereld met bepaalde eigenschappen
2. Dat we deze eigenschappen kunnen ‘ontdekken’ door ze te representeren
3. Dat er een afzonderlijk ‘subject’ is dat kan kennen

Daartegenover wil ik een ander soort kennis definiëren, die vooraf gaat aan subject en object. Dat wil zeggen dat kennis de relatie zelf is, maar dan opgevat als een interne relatie. Door de act van het kennen worden subject en object tot bepaalde eenheden gemaakt. We zeggen dan niet meer dat er een relatie is tussen subject en object, maar dat de kennisrelatie het subject en het object ‘bepaalt’. Deze visie ligt dicht bij Varela’s ‘enactieve benadering’, waarbij kennis geen representatie meer is van een vooraf gegeven wereld door een vooraf gegeven subject, maar eerder een ‘enactment’ van de wereld en het subject op basis van de geschiedenis van

acties die het zijn in de wereld vormgeven (Varela e.a., 1991, blz. 8) De enactieve benadering bestaat uit twee punten:

1. perceptie bestaat uit perceptueel geleide actie;
2. cognitieve structuren komen tevoorschijn uit terugkerende sensorimotorische patronen die toestaan dat de actie perceptueel geleid wordt. (Varela e.a., 1991, blz. 173)

Hij stelt verder:

“The key point, is that the species brings forth and specifies its own domain of problems to be solved by satisfying; this domain does not exist “out there” in an environment that acts as a landing pad for organisms that somehow drop or parachute into the world. Instead, living beings and their environments stand in relation to each other through *mutual specification* or *codetermination*. Thus what we describe as environmental regularities are not external features that have been internalised, as representationism and adaptationism both assume. Environmental regularities are the result of a conjoint history, a congruence that unfolds from a long history of codetermination. In Lewontin’s words, the organism is both the subject and object of evolution.” (Varela, 1991,blz. 198)

Lythgoe geeft als voorbeeld hoe de kleur van bloemen coëvolueerde met de ultraviolette sensitieve trichromatische visie van bijen. (Lythgoe, in Varela e.a., 1991, blz. 201)

Varela geeft volgende omschrijving van de enactieve benadering

“Question 1: What is cognition?

Answer: Enaction: A history of structural coupling that brings forth a world

Question 2: How does it work?

Answer: Through a network consisting of multiple levels of interconnected, sensorimotor subnetworks.

Question 3: How do I know when a cognitive system is functioning adequately?

Answer: When it becomes part of an ongoing existing world (as the young of every species do) or shapes a new one (as happens in evolutionary history)” (Varela e.a., 1991, blz. 206-207)

Vermits nu representaties niet langer een centrale rol spelen, is de rol van de omgeving als bron van input ook op de achtergrond geraakt.

In plaats van collectie van ‘gekenden’ met nadruk op kenniseenheden (inhoud) leggen we nu de nadruk op de procedures: acties van de kenner en niet meer een bepaalde kwaliteit van het gekende object. Ook hier verschuift de nadruk van de substantie naar de relatie. De relatie tussen object en subject zal dan de kennis bepalen.

Ook Piagets visie sluit meer aan bij kennis in een intern verband:

“To know is to transform reality in order to understand how a certain state is brought about”. Knowing and its development are intimately linked to action. Thought is a biologically derived function, which not only structures the object on which it acts but also restructures itself through its own activity. (...) any such structuring activity consists of two functions: assimilation (object incorporated into existing structures) and accomodation (existing structures modified in accordance with the object to be known). This is the ‘actionbased theory of cognition’.” (Piaget in Shaw en Bansford, 1977, blz. 171)

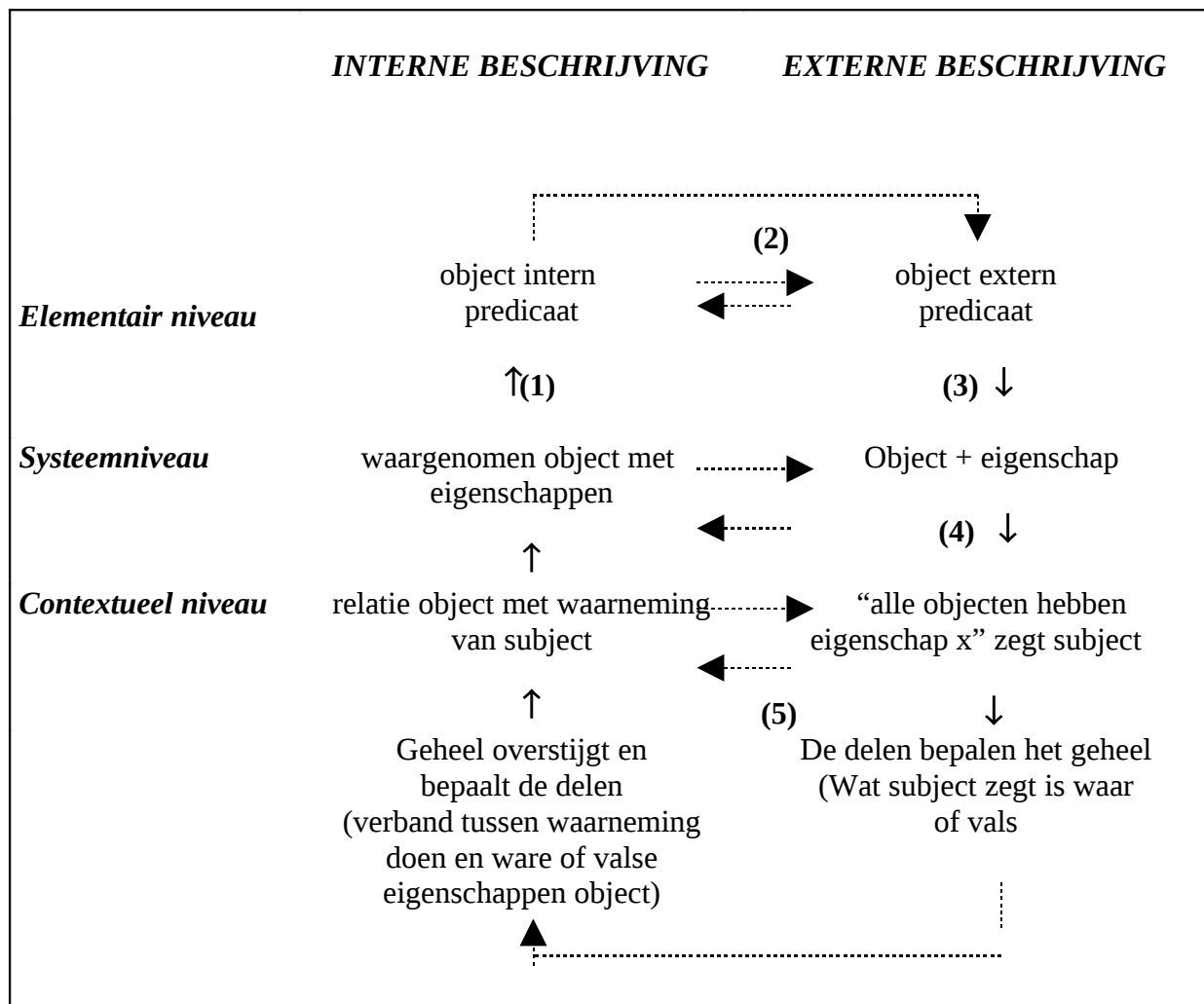
2.3.8. Kennisrelatie versus kennisinhoud

Kennis opgevat in termen van kennisinhoud impliceert een externe relatie tussen subject en object. Het kan dan gaan om interne of externe beschrijvingen van de wereld. De kennis die echter vervat zit in de act van het kennen impliceert een interne relatie tussen object en subject. Misschien is het wel nuttig om nog eens duidelijk het onderscheid te omschrijven tussen interne/externe ‘relatie’ en interne/externe ‘beschrijving’. Wanneer we de realiteit intern of extern ‘beschrijven’ dan beschouwen we de wereld op een interne of externe manier. Zo kunnen we ook het kennen als een activiteit tussen subject en object op een interne en op een externe manier beschrijven. In het eerste geval (interne beschrijving) gaan we ervan uit dat er een soort ‘directe kennis’ mogelijk is. In het tweede geval (externe beschrijving) vertrekken we expliciet van de object/subject splitsing. Ik ben echter van oordeel dat onze manier van beschrijven samenhangt met hoe de wereld is. Dat wil zeggen dat we de wereld op twee manieren beschrijven omdat de wereld zelf complementair is. Wat betreft de verhouding tussen subject en object kunnen we dan stellen dat er ook tussen object en subject een interne ‘relatie’ is en een externe ‘relatie’.

We weten nu dat de vertaling naar een externe beschrijving altijd een vervorming en informatieverlies impliceert. Het gebruik van de externe beschrijving is een proces ten opzichte van de interne beschrijving in termen van ‘verandering 2’. Dit betekent dus ook dat de basisvooronderstelling van de interne relatie (die in de beschrijving werd uitgedrukt)

gewijzigd wordt. Dit leidt tot de stelling dat kennis gebaseerd op externe relaties tussen subject en object een verandering is ten opzichte van de interne relatie tussen subject en object. Of met andere woorden: onze epistemologische vooronderstelling (opvatting van kennis ‘over’ de realiteit) wijzigt onze relatie ‘met’ de realiteit. Epistemologie en ontologie zijn dus niet onafhankelijk van elkaar. Ik noem dit de ‘paradox van de kennis’ naar analogie van de ‘paradox van de leugenaar’. Wanneer we door een externe beschrijving te geven de interne relatie tussen onszelf en het object in een nieuwe context plaatsen (herkaderen) is dit een verandering 2, die de interne relatie tussen object en subject wijzigt. Vermits een interne relatie bepalend is voor de ‘entiteiten’ worden hiermee zowel subject als object gewijzigd.

Schematisch ziet de paradox er als volgt uit:



In dit schema wordt duidelijk hoe een intern verband op systeemniveau (interne relatie tussen object en subject) aanleiding geeft tot waargenomen objecten (in de zin van directe

waarneming⁷) op elementair niveau. (1) Vertalen we dit naar een externe beschrijving, dan vinden we twee externe predicaten nl. enerzijds het object en anderzijds de eigenschappen van het object. (2) We kunnen deze twee terug bij elkaar voegen in een extern verband. (3) Laten we bovendien de waarnemer een uitspraak doen dan voegen we bij dit verband ook nog eens de waarheidsfunctie, aan externe maatstaven afgemeten. (4) Hiermee wordt eigenlijk de relatie tussen het object en de eigenschappen van het object geherdefiniëerd is ten opzichte van het oorspronkelijke interne verband. (5) In het interne verband zijn immers de eigenschappen van het object intern verbonden met de act van het waarnemen zelf, terwijl de eigenschappen na herinterpretatie een externe betekenis hebben. We kunnen de paradox van de kennis nu als volgt samenvatten:

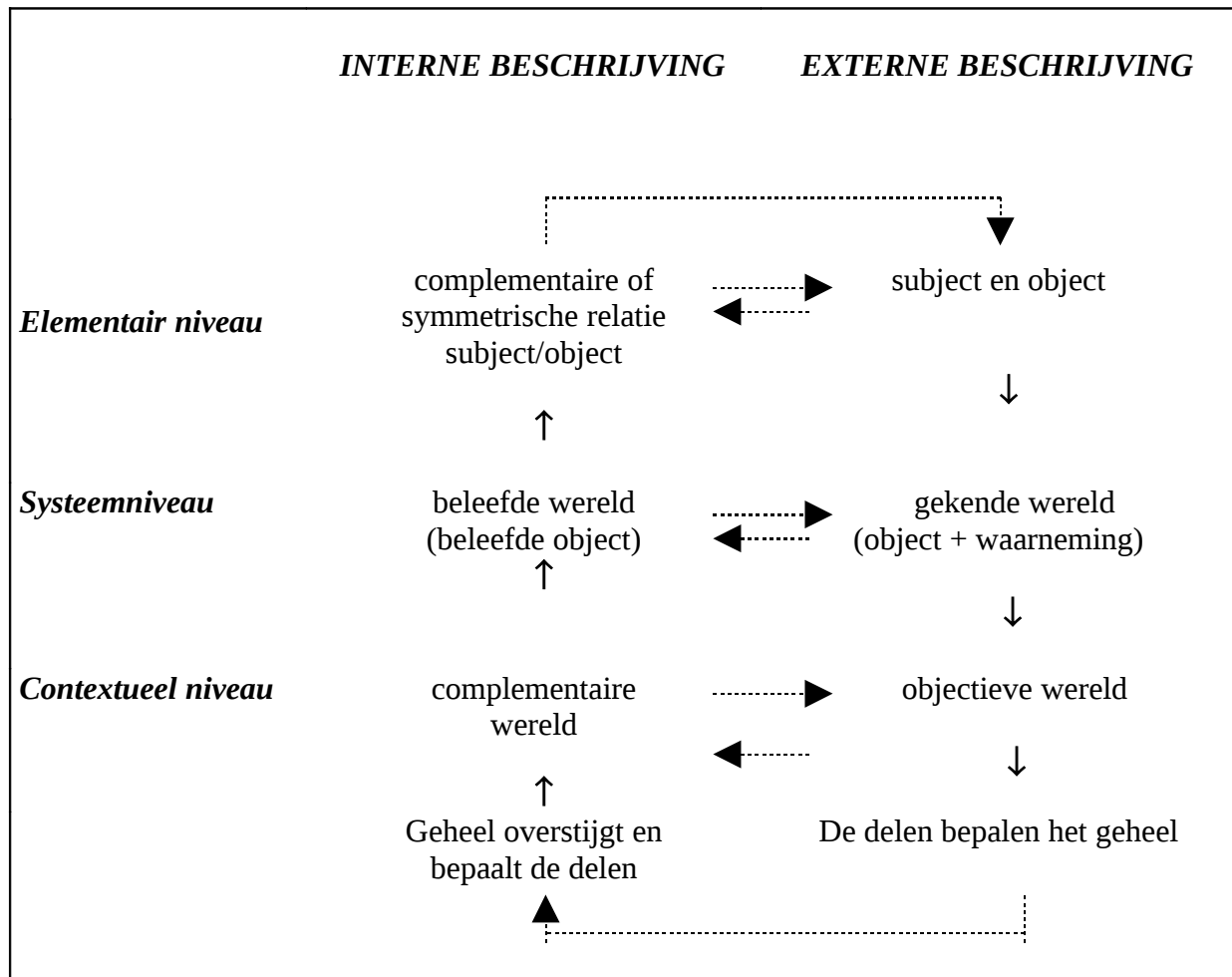
Kennis als inhoud en de vooronderstelling dat subject en object volledig van elkaar gescheiden zijn (externe relatie) zorgt voor een verandering van de interne relatie tussen subject en object, waardoor de kennisinhoud verandert.

We kunnen nu ook een onderscheid maken tussen verschillende werkelijkheden. Ik gebruik het begrip ‘objectieve werkelijkheid’ om te verwijzen naar een wereld bestaande uit een ontologische, van het subject gescheiden werkelijkheid met de subjecten als waarnemers. Men kan van mening verschillen of wetenschappen de ontologische werkelijkheid beschrijven of slechts een afspiegeling ervan: nl. de door ons gekende werkelijkheid. Wij kennen de wereld immers enkel door middel van onze waarnemingen. De wetenschap probeert echter te roeien met de riemen die ze heeft en probeert deze waarnemingen zo objectief mogelijk te maken. Dat wil zeggen dat subjectieve waarnemingen (onze gevoelens etc.) uitgefilterd worden. Het gebruik van meetinstrumenten is daar een middel toe, al is een volledig uitbanning van enige subjectieve invloed uiteraard uitgesloten. We kunnen dan een onderscheid maken tussen de ‘beleefde werkelijkheid’ en de ‘gekende werkelijkheid’. De eerste is de werkelijkheid zoals ze zich aan ons voordoet in ons objectief en subjectief aanvoelen. De tweede is de objectief gemeten werkelijkheid. Eigenlijk is het de beleefde werkelijkheid, waarvan de subjectieve invloeden zoveel mogelijk zijn afgetrokken. Ten slotte is er een complementaire wereld waarin subject en object nauw samenhangen door een interne

⁷ Met ‘directe waarneming’ wil ik onderscheid maken met de wetenschappelijke waarneming, waarbij men

vertrekt van de scheiding tussen subject en object. Het gaat hier om de waarneming die plaatsheeft binnen een interne relatie.

relatie. We kunnen deze verschillende werelden nu inpassen in het schema van de interne en de externe beschrijving.



De complementaire wereld, die alles overstijgt en alles met alles verbindt, is ook de wereld waarin universalia intern verbonden zijn met de particuliere wereld. Laten we even stilstaan bij dit onderscheid. Het is alsof er duplicaten zijn van alles rondom ons: twee tafels, twee stoelen... De eerste tafel is de concrete tafel die we al lang kennen, met een welbepaalde afmeting en kleur. De tweede is de abstracte 'tafel', die we gebruiken als kennisbegrip. Eddington beschrijft tafel twee op volgende manier:

Table No. 2 is my scientific table. It is a more recent acquaintance and I do not feel so familiar with it. It does not belong to the world previously mentioned – that world which spontaneously appears around me when I open my eyes (...) It is a part of a world which in more devious ways has forced itself on my attention. My scientific

table is mostly emptiness. Sparsely scattered in that emptiness are numerous electric charges rushing about with great speed; but their combined bulk amounts to less than a billionth of the bulk of the table itself. Notwithstanding its strange construction it turns out to be an entirely efficient table. It supports my writing paper as satisfactory as table No 1; for when I lay the paper on it the little electric particles with their headlong speed keep on hitting the underside, so that the paper is maintained in shuttlecock fashion at a nearly steady level. If I lean upon this table I shall not go through; or, to be strictly accurate, the chance of my scientific elbow going through my scientific table is so excessively small that it can be neglected in practical life. Reviewing their properties one by one, there seems to be nothing to choose between the two tables for ordinary purposes; but when abnormal circumstances befall, then my scientific table shows to advantage. If the house catches fire my scientific table will dissolve quite naturally into scientific smoke, whereas my familiar table undergoes a metamorphosis of its substantial nature which I can only regard as miraculous. (Eddington, 1942, blz. 6)

Op kennistheoretisch vlak heeft deze problematiek rond de Middeleeuwen geleid tot de discussie rond het statuut van de universalita. Men vroeg zich af of tafel 2 in werkelijkheid bestond of enkel in ons denken. Vandaag is iedereen het erover eens dat universalia een constructie van ons denken zijn. In de complementaire wereld is zijn en denken nauw verbonden. Universalia zijn er omwille van de particuliere wereld en omgekeerd. Het particuliere en het universele zijn nauw verbonden met elkaar. In de beleefde wereld vinden we deze interne band terug, maar we zien het universele doorheen de ervaring van het particulier beleefde. Hoe we de wereld beleven, zal vervolgens onze relatie tot de dingen om ons heen bepalen. Binnen de interne beschrijving vertrekken we dus van een intern verband dat particularia met universalia verbindt in een complementaire wereld. Deze zal bepalend zijn voor de beleefde wereld en de verhouding tussen subject en object.

Vanuit de externe beschrijving vertrekken we van van elkaar gescheiden subjecten en objecten. Door middel van objectieve observatie construeren we een gekende wereld, die op zijn beurt resulteert in een objectieve wereld. Dit is de wereld die bestaat uit een ontologische wereld enerzijds en daarvan onafhankelijke waarnemers. Einstein vergeleek deze ontologische wereld met een gesloten klok, waarvan wij als waarnemers het mechanisme proberen te doorgronden. De 'objectieve wereld' is dan niet meer dan de optelsom van de wereld als klok en de waarnemers.

We kunnen dit schema ook door de geschiedenis bekijken. We kunnen daaruit dan afleiden hoe de interne relatie tussen subject en object, die we weerspiegeld zien in epistemologische vooronderstellingen stilaan gewijzigd is doorheen de geschiedenis. Zo was er bij de mythische mens een volledige versmelting tussen subject en object. Naarmate de externe beschrijving verandert, verandert ook het interne verband. Zo zien we dat de interne relatie in de Middeleeuwen vooral vorm krijgt binnen een ‘goddelijke orde’. Het zou interessant zijn om de evolutie van het denken te bekijken in termen van de externe en interne beschrijving. Binnen het bestek van dit werk, zou dit echter te ver leiden.

Veranderingen binnen de interne relatie of veranderingen niveau 1 in Watzlawicks terminologie vinden we wanneer we bedenken dat de interne relatie tussen object en subject altijd behouden blijven. Dat wil zeggen dat de mythische mens overal de bevestiging zag van zijn interne relatie met de natuur, net zoals de mens uit de middeleeuwen altijd overal de hand van God in zag. En in onze tijd zien we steeds weer dat veel waarnemingen theoriegebonden zijn. Een echte verandering van de interne relatie kan alleen ontstaan wanneer we vanuit de externe beschrijving teruggaan naar het geheel.

De interne beschrijving geeft ons een beeld van een subject en een object dat het gevolg is van de interne relatie tussen denken en zijn. De externe beschrijving geeft een beeld van de relatie tussen object en subject als onafhankelijke entiteiten. Bij de mythische mens was dat wellicht niet meer dan een soort praktische onafhankelijkheid, terwijl de middeleeuwer toch al een grotere afstand zag tussen zichzelf en de wereld rondom, zij het dat het object nog werd aanzien als een manifestatie van Gods natuur. Met de splitsing tussen subject en object door Descartes en de wetenschappelijke evolutie daarna, werden object en subject niet alleen praktisch maar ook in het denken volledig gescheiden.

2.4. Kennis als proces

Kennis wordt meestal gelijkgesteld aan ‘kennisinhoud’. Deze inhoud staat echter niet los van het kennisproces. Er is een wederzijdse bepaling tussen het kennisproces en de kennisinhoud. Door meer nadruk te leggen op kennis als proces, wordt ook duidelijk dat werkelijkheid en kennis mekaar impliceren. De kennisrelatie of het kennisproces genereert inhoud, die op zijn beurt het proces bepaalt. Kennis als proces is dan niet meer dan het proces dat tot stand komt door de wisselwerking tussen interne en externe beschrijving. Door deze wisselwerking kan de interne relatie tussen object en subject veranderen.

Om dit te verduidelijken kunnen we gebruik maken van inzichten uit de communicatietheorie. Hierin wordt gebruik gemaakt van het zender-ontvanger schema. Om kennis te krijgen van de ontvanger zal het subject bij de ontvanger een ‘verschil’ proberen uit te lokken, eigenschappen proberen te ontdekken van de ontvanger. Stel dat de zender door middel van vragen kennis wil opdoen van de ontvanger. . Wanneer we uitgaan van een externe relatie dan heeft de boodschap (de vragen) geen effect op zender noch op ontvanger. De eigenschappen van zender en ontvanger kunnen afgebeeld worden en de vragen dienen enkel om de eigenschappen duidelijk te krijgen. De recente inzichten in communicatie wijzen echter uit dat een boodschap nooit ondubbelzinnig overkomen bij de ontvanger. Wat door de zender gezegd of gevraagd wordt, hoeft niet hetzelfde te zijn als wat de ontvanger begrijpt. Verschillende factoren spelen hierbij een rol:

- eigenschappen van de zender en de ontvanger (externe relatie): de vooroordelen of onbewuste voorstellingen van zender en ontvanger spelen een rol in de betekenis die aan de boodschap wordt gegeven.
- De relatie tussen zender en ontvanger en de context: naargelang de relatie kan de boodschap als interne relatie fungeren, dat wil zeggen dat de boodschap de eigenschappen van zender en ontvanger bepalen. Ook de context kan bepalen hoe een boodschap wordt begrepen.

Uit communicatietheorie blijkt dus dat communicatie meer is dan louter uitwisseling van informatie-inhouden, maar eerder een constructie van informatie. Bovendien is deze informatieconstructie zelf een bepalende factor voor de interne relatie. Hoe een boodschap wordt begrepen (hoe we de werkelijkheid ‘kennen’) hangt dus samen met hoe we zijn. Jos Hendrickx en anderen beschrijven hoe bij een gezin het gedrag en betekenisgeving samenhangen:

“Hoewel gedrag en betekenisgeving twee kanten van dezelfde medaille zijn, wordt de betekenisgeving van groter belang geacht voor de wijze waarop gezinsleden hun omgang met elkaar organiseren . (...) De cognities van gezinsleden vormen een symbolische context die bepaalt hoe gezinsleden gebeurtenissen waarnemen, interpreteren en betekenis geven. Deze symbolische context wordt het ideële niveau of de dieptestructuur van interacties genoemd. Het zijn de ideeën, vooronderstellingen, overtuigingen, interpunctiegewoonten etc. waarmee ze

situaties definiëren en betekenis geven. Het niveau van de feitelijke, observeerbare gedragingen is de oppervlaktestructuur.

De aandacht voor de cognitieve processen komt voort uit het gegeven dat de mens geen passieve waarnemer is die slechts informatie registreert. Hij richt zijn aandacht actief op bepaalde aspecten van situaties; hij selecteert en ordent indrukken tot een voor hem betekenisvolle Gestalt. Het zijn deze cognitieve processen die uit indrukken informatie maken. Informatie is niet een vooraf vastgelegd gegeven maar een produkt van de cognitieve verwerking van indrukken. Gedrag van gezinsleden wordt niet gereguleerd door een in de loop van de tijd gevormd interactiestructuur zoals de structurele benadering stelt, noch door een bepaald organisatiepatroon zoals het strategische model beweert, maar door hun beoordeling en betekenisgeving van situaties. Dat houdt in dat communicatie geen proces van informatie geven is maar van informatie construeren. Mensen communiceren niet om bepaalde informatie te verzamelen maar om indrukken die ze binnen krijgen te ordenen en te beoordelen (...). Dat is een groot verschil met de eerstgenoemde opvatting van communicatie als een proces van informatie-uitwisseling.” . (Hendrickx en anderen, 1991, blz. Boe11-Boe12)

Dit betekent dus dat de boodschap ‘complementair’ is, dat wil zeggen een externe en een interne relatie verenigt. In de mate dat de zender/ontvanger vanuit zijn of haar eigenheid de boodschap vervormt is er sprake van een externe relatie, maar naarmate dat de boodschap de eigenheid van de zender/ontvanger vervormt is er sprake van een interne relatie. In systeemtheoretische termen kan je stellen dat de zender/ontvanger tegelijk als geheel ten opzichte van de tegenpartij staat en tegelijk als medeonderdeel in een groter geheel.

Hoewel er dus steeds een interne en een externe relatie is, kan de verhouding verschillend zijn. Een voorbeeld kan dit illustreren. Wanneer ik een boodschap krijg van iemand die mij onbekend is zal de externe relatie primeren op de interne. Dit betekent dat de inhoud van de boodschap eerder zal geïnterpreteerd worden vanuit mijn eigen referentiekader. Naarmate echter de persoon waarmee wij communiceren belangrijker wordt zal de interne relatie belangrijker zijn. Dat wil zeggen dat de betekenis van de boodschap mijn referentiekader kan wijzigen of bepalen. Een voorbeeld van zo’n wijziging vinden we weer in de psychologie. (Vanmarcke & Igodt, 1985, blz.. 27-28). De context en de beleving van een relatie tussen man en vrouw kan wijzigen wanneer er een ‘reflexieve lus’ of paradox plaats heeft. Een

reflexieve lus ontstaat wanneer implicerende en contextuele krachten in de communicatie gelijk zijn:

- bij een implicerende kracht zullen personen meningen impliceren van een lager naar een hoger niveau van abstractie; bijvoorbeeld: in een context waarin een vrouw zich door haar man geliefd voelt, zegt haar man op sarcastische toon: 'ik hou van jou'. De betekenis van sarcasme zal dan geïmpliceerd worden in de context "ik ben geliefd", waardoor er bij de vrouw lichte twijfel of wantrouwen ontstaat.
- Bij een contextuele kracht wordt van een hoger niveau van betekenis een mening op een lager niveau gedefinieerd; bijvoorbeeld de contextuele kracht 'ik ben geliefd' zal het sarcasme van de man als 'toeval' of als 'verkeerde perceptie' definiëren.

Wanneer deze twee krachten even sterk worden ervaren, zal de vrouw in verwarring geraken. Er is een omslag van implicerende naar contextuele krachten mogelijk. De vrouw kan besluiten dat haar man een komediant is, dat ze helemaal niet geliefd is. De hele context en de relatie zijn dus gewijzigd.

Uit deze korte excursie in informatietheorie blijkt dat informatie meer is dan enkel 'inhoud'. Op een gelijkaardige manier kan ook 'kennis' gezien worden als meer dan enkel 'inhoud'. Wanneer we 'kennen' zien als een speciaal geval van 'zich informeren' of 'communiceren' dan wordt duidelijk dat kennis, net zoals informatie een proces is en dat wij de wereld construeren, die ons op haar beurt construeert.

We kunnen nooit een vooraf bestaande wereld kennen omdat kennen en zijn nauw verweven zijn. Naarmate de wereld 'gekend' wordt evolueert zowel de kenner als het gekende in een zich steeds veranderende interne relatie.

2.5. *Stellingen*

Kennis is een proces waarin zijn en kennen verweven zijn door een interne relatie. Ontologie en epistemologie zijn nauw met elkaar verweven. We kennen de wereld zoals ze zich aan ons voordoet, maar de wereld doet zich ook aan ons voor zoals we ze kennen. Wij 'creëren' het object dat ons op zijn beurt 'creëert' in een intern verband.

De paradox van de kennis: kennis als inhoud en de vooronderstelling dat subject en object volledig van elkaar gescheiden zijn (externe relatie) zorgt voor een verandering van de interne relatie tussen subject en object, waardoor subject en object veranderen.

**DEEL 2. COMPLEMENTAIRE
BESCHRIJVINGEN IN DE WETENSCHAP**

1. Systeemdenken

1.1. Systeemdenken: eenheid in verscheidenheid

“...the systems approach is...an amorphous phrase, that is becoming very popular...”
(Steiner geciteerd in Keuning, 1973, blz. 43)

Deze uitdrukking van George Steiner illustreert duidelijk dat systeemdenken niet zo eenduidig te omschrijven is. Wanneer we de literatuur over het onderwerp erop naslaan blijkt al vlug dat er eerder sprake is van een “systeemjungle”. Er lijkt geen duidelijke consensus over een gemeenschappelijk conceptueel kader: auteurs verwijzen met verschillende termen naar hetzelfde ding of geven anderzijds eenzelfde iets een verschillende benaming. Dat het systeemdenken het karakter van een “jungle” heeft is verder ook te wijten aan de enorme veelheid van disciplines die hun bijdrage leveren aan het conceptueel kader ervan.

Om toch enigszins orde in de chaos van het systeemdenken te brengen, zal ik een onderscheid maken tussen algemene systeemtheorie als interdisciplinaire wetenschapsrichting, toegepaste systeemwetenschap en systeembenadering, systeemfilosofie en tot slot systeemdenken.

2.1.1. Algemene systeemtheorie als interdisciplinaire wetenschapsrichting

De algemene systeemtheorie is in de jaren veertig ontwikkeld door Ludwig von Bertalanffy. Samen met de econoom K. Boulding, de wiskundige A. Rapoport en de fysioloog R. Gerard richtte hij in 1954 de ‘Society for General Systems Theory’ op. De naam werd later omgevormd tot ‘Society for General Systems Research’. von Bertalanffy was een bioloog die zocht naar een antwoord op de vraag waarin nu precies het verschil bestaat tussen een levend organisme en een ‘dode’ machine. Het vitalisme van de 19de-eeuwse biologie poogde het levensverschijnsel te verklaren vanuit een niet- of bovennatuurlijke doelloorzakelijkheid en moest vanaf de eeuwwisseling het veld ruimen voor het mechanisme, dat het leven tracht te verklaren vanuit de chemische processen die eraan ten grondslag liggen. Het was de verdienste van Bertalanffy om tegen de heersende wetenschappelijke methode in, het vitalisme te verzoenen met het mechanisme en te komen tot een zekere integratie of synthese van deze beide benaderingswijzen. Hij deed dat door opnieuw de aandacht te vestigen op de ‘waarheid’ van het vitalisme, dat een grotere aandacht had voor het geheel, de totaliteit, dan voor de

analyse en de functie van de delen, de fysisch-chemische bouwstenen van het leven. Twee sleutelbegrippen waren belangrijk: systeem en organisatie. Bertalanffy wenste de wetten van biologische systemen te ontdekken op elk organisatieniveau:

“Since the fundamental character of the living thing is its organization, the customary investigation of the single parts and processes cannot provide a complete explanation of the vital phenomena. This investigation gives us no information about the coordination of parts and processes. Thus the chief task of biology must be to discover the laws of biological systems (at all levels of organization). We believe that the attempts to find a foundation for theoretical biology point at a fundamental change in the world picture. This view, considered as a method of investigation we shall call “*orgasmic biology*” and, as an attempt at an explanation, “*the system theory of the organism*”. (Bertalanffy in Klir, 1972, blz. 24-25)

In deze twee begrippen ligt meteen ook de kiem voor de algemene systeemtheorie. Als de term ‘organisme’ wordt vervangen door andere ‘georganiseerde entiteiten’ zoals sociale groepen, persoonlijkheid of technologische concepten, dan is dit het programma van de systeemtheorie, of met de woorden van Bertalanffy:

“Thus, there exist models, principles, and laws that apply to generalized systems or their subclasses, irrespective of their particular kind, the nature of their component elements, and the relations or “forces” between them. It seems legitimate to ask for a theory, not of systems of a more or less special kind, but of universal principles to systems in general.

In this way we postulate a new discipline called General System Theory. Its subject matter is the formulation and derivation of those principles which are valid for “systems” in general”. (Bertalanffy, 1973, blz. 32)

Met zijn ‘General System Theory’ wilde Bertalanffy dus een algemeen theoretisch raamwerk creëren, waardoor algemene systeemwetmatigheden kunnen worden afgeleid, die van toepassing zijn in alle verschillende disciplines. Zo kan interdisciplinaire samenwerking bevorderd worden, wat tot een nieuwe benadering van de eenheidswetenschap kan bijdragen. De algemene systeemwetenschap vervult dus een intermediaire rol ten behoeve van alle wetenschappen door middel van een wetenschapsindifferent begrip, nl. het begrip ‘systeem’. Bertalanffy definieert ‘systeem’ als ‘a set of elements standing in interrelation’ (Bertalanffy, 1973, blz. 38). Volgens Bertalanffy bestudeert immers elke wetenschap bepaalde verschijn-

selen die kunnen teruggevoerd worden tot een definiëring van het begrip systeem. Het is dan de taak van de algemene systeemtheorie om de algemene systeemwetmatigheden op te sporen, waar in de aspectwetenschappen geen plaats voor is, maar die impliciet of expliciet wel voorondersteld zijn. De taak van de specifieke aspectwetenschap is inhoud te geven aan die wetmatigheid vanuit het ‘eigen’ gezichtspunt en met aandacht voor de specifieke verschijnselen.

De taak van de algemene systeemtheorie, nl. het zoeken naar, het bestuderen en formuleren van gemeenschappelijke gezichtspunten met betrekking tot objecten van onderzoek van afzonderlijke wetenschappen heeft tot gevolg dat algemene systeemtheorie eigenlijk geen eigen kenobject heeft, tenzij we het gemeenschappelijke zelf als kenobject omschrijven. Dit betekent dat het conceptueel kader moet uitgaan van begrippen die niet-objectgebonden zijn. We moeten daarom het begrip systeem zodanig definiëren dat het door elke wetenschap en voor alle systeemklassen kan worden gebruikt. Het begrip ‘systeem’ is dan een abstract instrument, waarmee een onderzoeker conceptuele, concrete of abstracte verschijnselen weer geeft en bestudeert. Zo krijgen we een intermediair begrip dat universeel toepasbaar is. Dit wil ook zeggen dat ‘systemen’ als zodanig zich niet voordoen in de werkelijkheid. In dit verband is Lievegoeds definitie van ‘systeem’ verhelderend:

“een systeem is een door mensen bepaald geheel van samenhangende elementen, begrippen of variabelen... Een horloge, een plant, een school en een bedrijf kan men als systeem zien...”. (Lievegoed in Keuning, 1973, blz. 55)

Dit wil zeggen dat een bedrijf geen systeem ‘is’, maar dat we het wel als zodanig kunnen beschouwen.

Het uiteindelijke doel is om algemene systeemtheorie te ontwikkelen in wiskundige termen omdat wiskunde de exacte taal is die toelaat om strakke deducties en confirmaties (of verworpingen) van de theorie af te leiden.

1.1.1. Toegepaste systeemwetenschappen en systeembenaderingen.

Waar algemene systeemtheorie voornamelijk met algemeenheden te doen had en als theoretisch kader fungeert, zijn de systeemwetenschappen een toepassing van de algemene begrippen binnen de verschillende wetenschappen zelf (bijvoorbeeld in natuurkunde, biologie, psychologie, sociale wetenschappen) Ackoff en Hall onderscheiden de volgende disciplines:

- Systems engineering: i.e., scientific planning, design, evaluation, and construction of man-machine systems;
- Operations research, i.e., scientific control of existing systems of men, machines, materials, money, etc.;
- Human Engineering, i.e., scientific adaptation of systems and especially machines in order to obtain maximum efficiency with minimum cost in money and other expenses. (Ackoff en Hall, in Bertalanffy, 1973, blz. 91)

Onafhankelijk van Bertalanffy's ontwikkeling van de algemene systeemtheorie volgden een aantal wetenschappers gelijkaardige denkpatronen. Dit geheel van denkpatronen wordt door Bertalanffy aangeduid als systeembenaderingen omdat ze op een of andere manier het systeemprobleem aanpakken, dat wil zeggen dat ze het probleem van interrelaties binnen een 'superordinate whole' behandelen. Hij gebruikt de term 'benaderingen' omdat het kan gaan om modellen (zoals deze van open systemen, feedback, logisch automaton); mathematische technieken (zoals de theorie van differentiaalvergelijkingen; computermethoden, set en graph theory) evenals nieuwe concepten of parameters (zoals informatie, rational game, decision, enz.). von Bertalanffy geeft een lijst van deze systeembenaderingen:

- “(1) Cybernetics, based upon the principle of feedback or circular causal trains providing mechanisms for goal-seeking and self-controlling behavior.
- (2) Information theory, introducing the concept of information as a unity measurable by an expression isomorphic to negative entropy in physics, and developing the principles of its transmission.
- (3) Game theory analyzing, in a novel mathematical framework, rational competition between two or more antagonists for maximum gain and minimum loss.
- (4) Decision theory, similarly analyzing rational choices, within human organizations, based upon examinations of a given situation and its possible outcomes.
- (5) Topology or relational mathematics, including non-metrical fields such as network and graph theory.
- (6) Factor analysis, i.e., isolation, by way of mathematical analysis, of factors in multivariable phenomena in psychology and other fields.

(7) General system theory in the narrower sense (G.S.T.), trying to derive, from a general definition of “system” as a complex of interacting components, concepts characteristic of organized wholes such as interaction, sum, mechanization, centralization, competition, finality, etc., and to apply them to concrete phenomena.” (Bertalanffy, 1973, blz. 90-91)

1.1.2. Systeemfilosofie

von Bertalanffy omschrijft systeemfilosofie als volgt:

“a new philosophy of nature,... contrasting the ‘blind laws of nature’ of the mechanistic world view and the world process as a Shakespearean tale told by an idiot, with an organismic outlook of the ‘world as a great organization’.” (Bertalanffy, 1974, blz. 21)

Wanneer we het hebben over systeemfilosofie, dan hebben we het dus eerder over een aantal filosofische vooronderstellingen, zodat systeemfilosofie kan worden aanzien als een wereldbeeld met het systeembegrip als nieuw wetenschappelijk paradigma.

Dit nieuw paradigma staat in contrast met de klassieke Newtoniaanse methode in wetenschap. Daarin wordt een bepaald object gezien als een verzameling van geïsoleerde deeltjes. In de Newtoniaanse methode gaat men ervan uit dat de eigenschappen van het totale object kunnen worden afgeleid van de eigenschappen van de delen, zonder rekening te houden met de mogelijke interactie tussen de deeltjes. In het nieuw paradigma van systeemfilosofie daarentegen gaat men ervan uit dat er binnen het systeem belangrijke interacties tussen de deeltjes kunnen bestaan en ook interacties tussen het systeem en de omgeving. De nadruk ligt dus op systemen als geheel en niet zozeer op hun afzonderlijke onderdelen.

1.2. Systeendenken

Ik zal verder in dit hoofdstuk het begrip systeendenken gebruiken als verzamelterm voor zowel de algemene systeemtheorie, toegepaste systeemwetenschap en systeembenaderingen evenals systeemtheorie.

1.3. Noodzaak van het systeemdenken

Het systeemdenken als nieuw paradigma was een antwoord op enkele problemen in de klassieke wetenschappen. Volgens von Bertalanffy ontstond er in het begin van de twintigste eeuw twijfel over het paradigma van de klassieke wetenschap, met name de verklaring van complexe fenomenen in termen van geïsoleerde elementen. De groei van biologie en gedrags- en sociale wetenschappen bracht aan het licht dat bepaalde problemen niet konden worden opgelost met de beproefde methode uit de natuurkunde. In al deze disciplines werd men geconfronteerd met de vraag hoe verschillende dingen samen reageren wanneer ze blootgesteld worden aan een aantal verschillende invloeden tegelijkertijd. Zo is bijvoorbeeld economie niet in staat de fluctuaties van beursprijzen te verklaren op basis van het gedrag van de individuele makelaars. Een ander voorbeeld is de onmogelijkheid om in de biologie het zelfbehoud van dierlijke organismen te verklaren vanuit de fysische wetten die het gedrag van de atomen en moleculen van het organisme bepalen. Er was dus nood aan een uitbreiding van conceptuele schema's, die het mogelijk maakten om problemen op te lossen, die door de toepassing van natuurkundige methoden onvoldoende waren of faalden. Ook binnen de natuurkunde zelf blijkt de natuurwetenschappelijke methode voor bepaalde problemen geen oplossing te geven. von Bertalanffy vernoemt het drie-lichamenprobleem uit de mechanica, dat onoplosbaar is binnen de structuur van de klassieke wetenschap. Warren Weaver drukt het als volgt uit:

“Classical science was concerned either with linear causal trains, that is, two-variable problems; or else with unorganized complexity. The latter can be handled with statistical methods and ultimately stems from the second principle of thermodynamics. However, in modern physics and biology, problems of organized complexity, that is, interaction of a large but not infinite number of variables, are popping up everywhere and demand new conceptual tools.” (Warren Weaver in Buckley, 1972a, blz. 12)

Verder stelt von Bertalanffy vast dat er vanuit verschillende disciplines formeel identieke wetten en gelijkaardige fenomenen voorkomen. Afgezien van de specifieke kenmerken, die aan bepaalde entiteiten toebehoren, zijn er volgens hem empirisch te bepalen structuurgelijkheden en wetmatigheden, die zich onderling laten vergelijken en algemeen toepasbaar blijken op bepaalde klassen ‘systemen’. Boulding (1972, blz. 5-6) geeft enkele voorbeelden. In bijna alle disciplines is bijvoorbeeld sprake van populaties, aggregaten van

individuen die voldoen aan een gemeenschappelijke definitie, waaraan individuen worden toegevoegd (geboren) en afgetrokken (gestorven) en waarin de leeftijd van het individu een relevante en identificeerbare variabele is. Een ander voorbeeld van universeel belang voor alle disciplines is dat van de interactie van een 'individu' met de omgeving. Elke discipline bestudeert een soort individu: een elektron, een atoom, molecule, virus, cel, plant, familie, organisatie enz. Al deze individuen vertonen gedrag dat in relatie staat tot de omgeving. Het concept 'groei' is nog een voorbeeld van een fenomeen dat in zowat alle wetenschappen een zeker belang heeft, zij het dat er een zeker verschil in complexiteit is tussen groei van kristallen, embryo's en maatschappijen. Ten slotte vernoemt Boulding de theorie van informatie en communicatie als mogelijkheid om algemene noties van structuur en organisatie te formuleren. Immers, communicatie en informatieprocessen worden gevonden in een grote veelheid van empirische situaties, zowel in de biologische als in de sociale wereld.

De methode van de klassieke wetenschap maakte het echter onmogelijk om dit soort wetmatigheden op te merken. Het voortdurend opsplitsen van kennis tengevolge van de analytische methode om dingen op te delen en afzonderlijk te bestuderen om zo te komen tot kennis van het geheel, had immers voor gevolg dat wetenschap zelf steeds meer opgesplitst werd in deelwetenschappen. We krijgen op die manier enkel gefragmenteerde, zij het enorm gedetailleerde kennis van de werkelijkheid. Daarom moest volgens von Bertalanffy 'boven' de bestaande wetenschappen een nieuwe, te ontwikkelen basiswetenschap gesteld te worden, waaraan hij gestalte wenst te geven vanuit zijn algemene systeemtheorie. Om de structuurwetmatigheden in alle takken van wetenschap op het spoor te komen gebruikt hij de wiskundige taal. De vergelijkbare relaties, worden dan in hun symmetrische relaties door isomorfie bepaald, uit te drukken in de taal der wiskunde.

1.4. Methode van de algemene systeemtheorie

1.4.1. Uitgangspunten

Voor de studie van systeemmodellen kunnen twee basismethoden worden gebruikt. De eerste methode onderzoekt de wereld zoals we die kennen en de verschillende systemen die erin voorkomen (fysische, biologische, sociologische enz.) en distilleert daaruit uitspraken over de geobserveerde regelmatigheden. De belangrijkste principes die volgens deze methode werden vastgesteld en toegepast in verschillende takken van de toegepaste systeemwetenschappen zijn o.a. wholeness, som, centralisatie, differentiatie, gesloten en open systemen, finaliteit,

equifinaliteit⁸, groei in de tijd, relatieve groei, competitie, enz. De tweede methode vertrekt vanuit het andere uiterste en beschouwt eerst de set van mogelijke systemen (ongeacht of deze in de realiteit bestaan of niet) en reduceert dan deze set tot een werkbaar aantal. Ashby noemt de eerste de empirische methode van von Bertalanffy en de tweede de axiomatische methode, die hijzelf gebruikte. (Ashby in Laszlo, 1972a, blz. 16)

1.4.2. Beschrijving van systemen

Het gedrag van systemen kan op twee manieren worden beschreven: intern en extern.⁹ Interne beschrijving is structureel, dat wil zeggen dat het gedrag van het systeem beschreven wordt in term van toestandsveranderlijken en hun onderlinge afhankelijkheid. Hier wordt aan de hand van differentiaalvergelijkingen beschreven hoe de systeemeigenschappen samenhangen en aanleiding geven tot heelheid, som, competitie, stabiliteit, groei, equifinaal gedrag enz.

Externe beschrijving is functioneel. Hier wordt het gedrag van systemen beschreven in termen van de interactie van het systeem met de omgeving. Het systeem wordt hier bekeken als een ‘black box’ en de beschrijving van het systeem gebeurt in termen van input en output. Externe beschrijving gebeurt in termen van communicatie (uitwisseling van informatie tussen systeem en omgeving en in het systeem) en controle van het gedrag van het systeem ten opzichte van de omgeving (feedback).

Gaat het bij de interne beschrijving om continue differentiaalvergelijkingen, dan spreken we in de externe beschrijving van discrete functies. Deze twee ‘talen’ zijn echter verbonden en in sommige gevallen kan de ene beschrijving worden vertaald naar de andere. (von Bertalanffy, 1974, blz. 18-19)

⁸ Het begrip equifinaliteit werd geïntroduceerd door von Bertalanffy. Een systeem bezit eigenschappen van equifinaliteit indien dezelfde finale toestand van een systeem vanuit verschillende begintoestanden en langs verschillende wegen kan worden bereikt.

⁹ Het gaat hier niet over mijn classificatie in ‘interne’ en ‘externe beschrijving’, hoewel mijn opdeling er wel mee overeenkomt.

1.5. *Kenmerken van systeemdenken*

1.5.1. **Het georganiseerd geheel of systeem als paradigma**

In tegenstelling tot de methode van de klassieke wetenschap vertrekken we in het systeemdenken altijd van georganiseerde gehelen en niet van geïsoleerde items. Het belangrijkste hierin is de ‘onoptelbaarheid’. Dit wil zeggen dat een systeem meer is dan een willekeurige verzameling van elementen; het is een organisatie van onderling afhankelijke componenten, waarin het gedrag en de uitdrukkingen van elk der componenten invloed uitoefent op en beïnvloed wordt door alle andere. Onoptelbaar betekent dus dat het geheel meer is dan de som van de componenten. Men kan dus een systeem niet begrijpen als men uitsluitend de onderdelen onderzoekt en de resultaten, die men bekomt over die onderdelen ‘bij elkaar optelt’. De aard van het systeem transcendeert de som van de afzonderlijke elementen en behoort tot een hogere graad van abstractie.

von Bertalanffy legt dit als volgt uit. (von Bertalanffy, 1973, blz. 54-55) Wanneer we met complexen van elementen te maken krijgen, dan kunnen we op drie manieren een onderscheid maken: 1. naargelang hun aantal, 2. naargelang hun soort en 3. naargelang de relaties van de elementen. Grafisch voorgesteld waarbij a en b verschillende complexen binnen één onderscheid voorstellen:

| | | | |
|------|---------|---|------------|
| 1) a | 0 0 0 0 | b | 0 0 0 0 0 |
| 2) a | 0 0 0 0 | b | 0 0 0 |
| 3) a | 0-0-0-0 | b | 0-0 0-0 |

In gevallen 1) en 2) kan het complex gezien worden als de som van de elementen in afzondering. In het derde geval, echter, moeten niet enkel de afzonderlijke elementen maar ook de relaties tussen hen gekend zijn. Karakteristieken van de eerste soort kunnen dus summatief genoemd worden, die van de tweede soort constitutief. We kunnen ook zeggen dat summatieve karakteristieken van een element deze zijn, die dezelfde blijven binnenin of buiten het complex. Daarom volstaat het hier om enkel op te tellen. Constitutieve

karakteristieken zijn echter afhankelijk van hun specifieke relaties binnen het complex. von Bertalanffy noemt als voorbeelden van het eerste type bijvoorbeeld moleculair gewicht (som van het gewicht van de atomen) of hitte (beschouwd als som van de bewegingen van moleculen). Bij dit type van geheel kunnen we beter spreken van aggregaten of ‘heaps’. Een voorbeeld van het tweede type zijn chemische karakteristieken (bijvoorbeeld: “isomerism, different characteristics of compounds with the same gross composition but different arrangement of radicals in the molecule”). Laszlo noemt als voorbeelden nog het ‘Pauli exclusion principle’ (dat niets zegt over het gedrag van individuele elektronen), homeostatische zelfregulatie (betekenisloos ten opzichte van individuele cellen of organismen), en verdelende rechtvaardigheid (ook betekenisloos ten opzichte van de individuele leden van een samenleving). (Laszlo, 1972a, blz. 37) De betekenis van de mystieke uitdrukking “het geheel is meer dan de som van de delen” betekent dus dat consitutieve karakteristieken niet verklaarbaar zijn vanuit de karakteristieken van hun geïsoleerde delen. De karakteristieken van het complex, zijn daarom vergeleken bij de karakteristieken van de delen “nieuw” of ‘emergent’.

1.5.2. Het hiërarchisch principe

Al in 1936 schreef Joseph Needham: “De hiërarchie van relaties, van de moleculair-structuur van koolstofverbindingen tot het evenwicht van soorten en ecologische gehelen toe, zal misschien het overheersende idee van de toekomst worden.” (Needham in Koestler, 1981, blz. 33) In de algemene systeemtheorie hebben we te maken met het systeem, de omgeving van het systeem (suprasysteem) en de componenten van het systeem (subsystemen); en de theorie houdt zich bezig met de beschrijving en het onderzoek van de relaties binnen deze hiërarchie van onderling verband houdende systemen. Deze hiërarchische orde ontstaat dus wanneer de individuele leden van een systeem op zich weer een (sub)systeem vormen, maar dan op een lager niveau. Anderzijds kunnen verschillende systemen als elementen fungeren voor een (supra) systeem op een hoger niveau. Koestler zegt in dit verband: “De eenheden op elk niveau van de hiërarchie hebben als het ware een dubbele functie: als zij naar beneden zijn gericht, functioneren zij als geheel, als zij naar boven zijn gericht functioneren zij als deel.” (Koestler, in Walrond-Skinner, 1978, blz. 24) Op basis van een aantal criteria zoals bijvoorbeeld de mate van ingewikkeldheid van een systeem, kunnen alle systemen in de realiteit worden gerangschikt in een systeemklassificatie. De criteria voor klassificatie verschillen van auteur tot auteur, maar telkens hebben ze als doel systemen zodanig te rangschikken dat een hiërarchisch hoger gerangschikt systeem alle lager geclassificeerde omvat. Elk hoger niveau wordt herkend door een toegevoegde dimensie en heeft een wijder

perspectief. Zo onderscheidt Boulding negen systeemniveaus: (Kramer en Smit, 1991, blz. 11-13 en Keuning, 1973, blz. 16-20)

Het niveau van de statische systemen. Het eenvoudigste voorbeeld is een landkaart. Elke wetenschap begint met het ordenen van kennis binnen dit soort theoretische raamwerken of modellen.

Het niveau van de eenvoudige dynamische systemen. Voorbeelden zijn uurwerken, het zonnestelsel, machines, maar ook het aangroeien van een bepaald kapitaal op samengestelde interest. Kenmerkend voor dit niveau is de in de tijd gezien gedetermineerd noodzakelijke bewegingen.

Het niveau van de cybernetische systemen. Een voorbeeld hiervan is de thermostaat, die de temperatuur waarop hij is ingesteld, tracht te handhaven. Kenmerkend bij deze systemen is de overbrenging en interpretatie van informatie. In deze systemen wordt via terugkoppeling een gewenste waarde of norm nagestreefd.

Het niveau van de open zichzelf handhavende systemen. Een voorbeeld is de levende cel, die zichzelf dupliceert bij voortplanting. Maar ook een vlam of een rivier zijn voorbeelden op dit niveau. Kenmerkend is dat het systeem zichzelf in stand houdt door middel van een continue wisselwerking met de omgeving.

Het niveau van de genetisch sociale systemen. Voorbeelden zijn alle planten. Kenmerkend voor deze systemen is dat ze een arbeidsverdeling hebben. De plant heeft wortels, bladeren enz. Bepaalde cellen hebben andere functies dan andere cellen. Er is echter nog wel de eigenschap van 'equifinal growth' of voorgeschreven groei.

Het niveau van de animale systemen. Kenmerkend is dat er speciale organen zijn voor de invoer van informatie uit de omgeving. Het gedrag is afhankelijk van gestructureerde informatie vanuit de omgeving.

Het niveau van het menselijk systeem. De mens onderscheidt zich van het dier door een zelfbewustzijn en de mogelijkheid om abstract te denken.

Het niveau van de sociale systemen. Op dit niveau vinden we sociale organisaties.

Het niveau van de transcendentale systemen. Hierin vinden we de symbolische systemen, zoals de taal, de logica, de wiskunde etc., waarbinnen evenzeer structuren

en relaties bestaan. Ook de verschillende wetenschappen worden in de hiërarchie van Boulding (en de hiërarchie van Von Bertalanffy) gerelateerd aan een bepaald niveau van systemen (Keuning, 1973, blz. 27). Op de eerste drie niveaus zijn de mechanische of fysische systemen gesteld, waarmee o.a. de natuurkundige en de astronoom zich bezighouden; op het vierde, vijfde en zesde niveau zijn biologische systemen gerangschikt, die door o.a. biologen, botanici, medici en zoölogen worden bestudeerd, terwijl de sociale wetenschappen, de economie, de theologie etc. de menselijke, de sociale en transcendentale systemen bestuderen.

Het sleutelbegrip binnen dit hiërarchisch principe is 'emergentie'. Op elk hoger niveau ontstaan nieuwe 'organiserende betrekkingen' tussen (sub)gehele van telkens grotere complexiteit, waarvan de eigenschappen *'noch kunnen worden gereduceerd tot, noch kunnen worden voorspeld vanuit het lagere niveau'*. De eigenschappen die ontstaan zijn dus 'nieuw' voor het systeem. Het zijn nieuwe transformaties van onveranderlijke eigenschappen. Het gaat hier dus niet om de metafysische 'emergentie' of het ontstaan van iets uit niets. Anderzijds is deze nieuwheid ook niet het gevolg van een externe factor zoals bijvoorbeeld het maken van een horloge door een horlogemaker. We mogen deze emergentie verder ook niet verwarren met de nieuwheid gebaseerd op informatie die al in het systeem aanwezig was, zoals bijvoorbeeld in chromosomen waarin de informatie noodzakelijk voor de ontwikkeling van het volwassen individu al aanwezig is. De emergentie waarvan sprake in systeemtheorie is deze waarin de informatie zelf wordt gegenereerd door het proces, waarbij de gereorganiseerde structuur tot uiting komt. Het gaat dus niet om de realisatie van een vooraf bestaand doel (teleologie) maar meer om telenomie, het ontstaan (emergentie) van het doel zelf, of juister, de dynamische organisatie die het doel manifesteert. (Laszlo, 1972a, blz. 176) Voorbeelden van emergente eigenschappen zijn temperatuur, druk, entropie, feedback enz. Deze zijn emergent als we ze bekijken vanuit het raamwerk van de klassieke mechanica van deeltjes: een enkel deeltje heeft noch temperatuur, noch druk en vertoont evenmin homeostatische of gelijkaardige complexe gedragingen.

Dit gezichtspunt druist regelrecht in tegen de materialistische visie, omdat het impliceert dat de biologische wetten die het leven beheersen kwalitatief verschillen van de wetten van de natuurkunde die gelden voor de levenloze materie, en het leven daarom niet 'gereduceerd' kan worden tot de blinde dans der atomen. Het impliceert ook dat de geestelijke eigenschap-

pen van de mens kwalitatief verschillen van de geconditioneerde responsen van Pavlovs honden of van Skinners ratten.

1.5.3. Terugkoppelingskringen

Er werd vanuit de cybernetica een belangrijke vooruitgang geboekt door Norbert Wiener's terugkoppelingsbegrip. (Capra, 1996, blz. 64 e.v.) Terugkoppelingskringen zijn abstracte relatiepatronen die zijn ingebed in materiële structuren of in de activiteiten van levende organismen. In de geschiedenis van het systeemdenken waren de cybernetici de eersten die een duidelijk onderscheid maakten tussen het organisatiepatroon en de feitelijke structuur van een systeem.

Een terugkoppelingskring is een rondgaande reeks oorzakelijk verbonden elementen waarin een beginoorzaak zich langs de schakels van de kring voortplant, zodat elk element een effect heeft op het volgende, tot de laatste het effect 'terugkoppelt' naar het eerste element van de kring. Het gevolg van die ordening is dat de eerste schakel ('invoer') wordt beïnvloed door de laatste ('uitvoer') met als gevolg dat het hele systeem zichzelf regelt doordat het begineffect elke keer dat het de kring rondreist wordt bijgesteld. Een van de eenvoudigste voorbeelden van een terugkoppelingskring is Wiener's oorspronkelijke voorbeeld van de stuurman. (Capra, 1996, blz. 65) Als het schip afwijkt van de gekozen koers, laten we zeggen naar stuurboord, dan schat de stuurman de afwijking en geeft vervolgens tegenstuur door het roer naar bakboord te bewegen. Daardoor neemt de koersafwijking van het schip af, misschien zelfs wel zoveel dat het over de juiste koers heen draait en een afwijking naar bakboord krijgt. Tijdens die koerscorrectie maakt de stuurman een nieuwe schatting van de afwijking, geeft overeenkomstig tegenstuur, maakt weer een schatting, enzovoort.

Norbert Wiener was zich ervan bewust dat terugkoppeling een belangrijk begrip is voor het modelleren van zowel levende organismen als van sociale systemen. Zo schreef hij in *Cybernetics*:

“Zonder twijfel vormt het sociale systeem net zo'n organisatie als het individu, dat door systeemcommunicatie wordt bijeengehouden en een dynamiek vertoont waarin terugkoppelingsachtige kringprocessen een belangrijke rol spelen.” (Wiener Norbert geciteerd in Capra, 1996, blz. 70)

1.6. *Levende systemen*

Bestaat er een gemeenschappelijk organisatiepatroon dat in alle levende systemen kan worden aangewezen? We zullen zien dat dit inderdaad het geval is.

De belangrijkste eigenschap van levende systemen is het netwerkpatroon. In elk levend systeem kunnen we zien dat de onderdelen op een netwerkachtige manier gerangschikt zijn. Dit besef drong in de wetenschap door in de jaren twintig, toen ecologen voedselnetten begonnen te bestuderen. (Capra, 1996, blz. 88) Kort daarna breidden systeemdenkers hun netwerkmodellen uit naar alle systeemniveaus omdat ze inzagen dat het netwerk het algemene patroon van het leven is. Zo probeerden cybernetici de hersenen te begrijpen als een neurale netwerk. De hersenen als geheel kunnen worden onderverdeeld in deelnetwerken, die op een netwerkmanier met elkaar communiceren. Het gevolg hiervan is een ingewikkeld patroon van onderling verbonden netwerken en netwerken binnen netwerken.

De meest evidente eigenschap van elk netwerk is zijn niet-lineariteit: het gaat alle kanten op. De relaties in een netwerkpatroon zijn dus niet-lineair. Dat houdt in het bijzonder in dat een invloed, of bericht, kan reizen langs een cirkelvormig pad dat een terugkoppelingsketen kan worden. Het terugkoppelingsbegrip is nauw verbonden met het netwerkpatroon. Daardoor kunnen communicatienetwerken zichzelf gaan reguleren. Een gemeenschap bijvoorbeeld kan haar fouten verbeteren, zichzelf reguleren en zichzelf organiseren. Zelforganisatie zou dan het centrale begrip in een systeemopvatting van het leven kunnen zijn. Volgens Maturana en Varela (in Capra, 1996, blz. 163) is het cruciale kenmerk van een levend netwerk dat het zichzelf voortdurend produceert. Autopoïese, of 'zelfcreatie' is een netwerkpatroon waarin elk onderdeel de functie heeft om bij te dragen tot de productie of transformatie van andere onderdelen in het netwerk. Op die manier is het netwerk voortdurend bezig zichzelf te creëren. Het wordt gecreëerd door zijn onderdelen en creëert op zijn beurt die onderdelen weer.

Een ander kenmerk van een levend systeem is dat het zowel open als gesloten is: het is structureel open maar organisatorisch gesloten. Er gaat voortdurend materie in en uit, maar het systeem handhaaft een stabiele vorm en doet dat autonoom, door zelforganisatie. (Capra, 1996, blz. 170)

De bioloog en filosoof Gail Flaischaker vat de eigenschappen van een autopoïetisch netwerk samen in drie criteria: het systeem moet zichzelf scheppen, begrenzen en in stand houden. (Flaischaker, Gail Raney, geciteerd in Capra, 1996, blz. 207) Zichzelf begrenzen wil zeggen

dat de omvang van het systeem bepaald wordt door een grens die integraal onderdeel uitmaakt van het netwerk. Zichzelf scheppen wil zeggen dat alle onderdelen van het systeem, met inbegrip van die van de grens, door processen in het systeem worden voortgebracht. Zichzelf in stand houden wil zeggen dat die productieprocessen blijven voortgaan, zodat alle onderdelen in het transformatieproces van het systeem steeds opnieuw worden vervangen.

Kenmerkend ten slotte voor levende systemen is dat levende systemen ‘cognitieve systemen’ zijn. (Capra, 1996, blz. 264 ev). Kennen is volgens Maturana de activiteit waarmee autopoietische systemen zichzelf scheppen en in stand houden.

Het specifieke verschijnsel dat de grondslag vormt van het kenproces is structurele koppeling. Een autopoietisch systeem ondergaat voortdurend structurele verandering terwijl het zijn webachtige organisatiepatroon onderhoudt. De koppeling met de omgeving verloopt ‘structureel’, dat wil zeggen door herhaalde interacties die tot structurele verandering in het systeem leiden. Maar het levende systeem is autonoom. De omgeving zet de structurele veranderingen in gang, maar ze worden daar niet door bepaald of gestuurd. Het systeem bepaalt welke omgevingsinvloeden tot zulke veranderingen zullen leiden. Door zelf te bepalen welke omgevingsinvloeden tot verandering zullen leiden, ‘brengt’ het systeem ‘een wereld voort’. Kennen is dus niet zozeer het afbeelden van een onafhankelijke bestaande wereld als wel het steeds weer scheppen van een wereld door het levensproces. De interacties van een levend systeem met zijn omgeving zijn cognitieve interacties en het levensproces zelf is een kenproces. In de woorden van Maturana en Varela: ‘leven is kennen’. (Maturana en Varela, 1989, blz. 139).

Levende systemen zijn ook nauw verweven met niet levende systemen door middel van terugkoppelingskringen. Rotsen, planten en dieren kunnen niet langer als compleet gescheiden zaken worden gezien. Lovelock en Margulis stellen het conventionele idee ter discussie dat planten en dieren slechts passagiers zijn die hier toevallig net de juiste omstandigheden voor hun evolutie vonden. Volgens de Gaiatheorie schept het leven zelf de omstandigheden voor zijn eigen bestaan. In de woorden van Lynn Margulis:

“Simpel gezegd komt de [Gaia]hypothese erop neer dat het aardoppervlak, dat we altijd hebben gezien als de omgeving van het leven, in werkelijkheid déél van het leven is. De deken van lucht, de troposfeer, moeten we zien als een circulatiesysteem dat door het leven wordt gemaakt en in stand gehouden... Als wetenschapsbeoefenaren ons vertellen dat het leven zich aanpast aan een in wezen

passieve omgeving van natuurkunde, scheikunde en rotsen, houden ze vast aan een ernstig verwrongen zienswijze. In werkelijkheid maakt, vormt en verandert het leven de omgeving waaraan het zich aanpast. Die ‘omgeving’ op zijn beurt beïnvloedt de organismen die daarin veranderen, leven en groeien. Er is voortdurend sprake van cyclische wisselwerkingen.” (Margulis, geciteerd in Capra, 1996, blz. 111).

1.7. Complementariteit in systeemdenken

1.7.1. Interne en externe beschrijvingen

In de Newtoniaanse wetenschap kon het universum omschreven worden als een groot mechanisme, dat deterministische bewegingswetten gehoorzaamde. Complexe gebeurtenissen konden begrepen worden door ze op te delen in elementaire interacties. In het begin van de twintigste eeuw kwamen echter steeds meer complexe systemen onder de aandacht, die net niet konden worden verklaard door ze op te delen in hun onderdelen. Zo kunnen we bijvoorbeeld niet verklaren hoe de beursprijzen schommelen als resultaat van het gedrag van de individuen in een samenleving. In plaats van dus naar een enkel ding te kijken op een bepaald tijdstip, kunnen we onze aandacht richten naar een complex van verschillende dingen die met elkaar in interactie zijn, als een geheel. Zo kunnen we bijvoorbeeld een voetbalclub, een onderneming of een samenleving zien als een geheel. Deze gehelen blijken dan zeer specifieke eigenschappen te hebben. Zelfs als verschillende individuen uit een bedrijf vervangen worden, kan het bedrijf als geheel onveranderd blijven. De mens zelf bestaat uit ontelbare cellen, die na verloop van tijd allemaal vervangen zijn door nieuwe cellen. Toch blijft die persoon zelf gelijk. Kenmerkend voor zo’n gehelen is dus dat hun eigenschappen niet kunnen worden herleid tot de eigenschappen van hun individuele leden.

We kunnen ons hierbij de vraag stellen of we hier terug vervallen in reductionisme. In plaats van de fenomenen te herleiden tot de ‘dingen en hun eigenschappen’ herleiden we ze nu tot het gedrag van systemen. In het traditionele reductionisme werd echter gezocht naar een onderliggende substantie, zoals materiële atomen, terwijl systeemtheorie op zoek gaat naar gezamenlijke aspecten van *organisatie*.

De systeemtheorie neemt expliciet tot uitgangspunt dat structuur- en gedragseigenschappen van complexe gehelen niet alleen worden bepaald door eigenschappen van de samenstellende

delen, maar ook en vooral door de samenhang tussen de samenstellende delen. Vandaar dat een systeem vaak ook als volgt wordt gedefiniëerd:

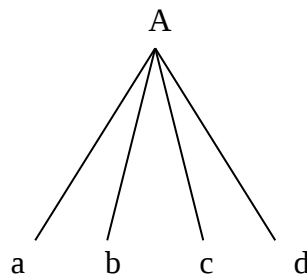
“A system may be defined as a set of elements in interrelation among themselves and with the environment. (Bertalanffy, 1972, blz. 17)

De relatie, de samenhang tussen de samenstellende delen wordt dus centraal gesteld. Dit betekent echter niet dat gehelen gereduceerd kunnen worden tot delen en relaties.

Een relatie kun je omschrijven als: ‘de wijze waarop twee componenten op elkaar betrokken zijn’. Door een relatie worden de eigenschappen van die componenten gekoppeld. Deze koppeling kan men in de vorm van een mathematische functie schrijven. Zo kunnen veranderingen in de waarde van eigenschappen van één component veranderingen in de waarde van eigenschappen van een andere component voor gevolg hebben. Daarmee wordt de mogelijkheid van wederzijdse beïnvloeding geopend. Vanuit deze omschrijving is echter nog niet duidelijk hoe deze relaties anders zijn, met name hoe de relatienetwerken een groter geheel tot stand brengen dat meer is dan de som van de delen en de relaties ertussen. Volgende definitie van Sachs is daarom verhelderend:

“de entiteiten van een verzameling zijn aan elkaar gerelateerd indien zij collectief een eigenschap bezitten die geen van hen (of geen van de deelverzamelingen) heeft.”
(Sachs in Kramer en Smit, 1991, blz. 26)

Om deze interrelatiegedachte beter te begrijpen is Angyal’s opvatting van belang. (Angyal geciteerd in Keuning, 1973, blz. 62-64) In een systeem zijn volgens Angyal de verschillende componenten niet significant verbonden met elkaar tenzij mits referentie tot het geheel. Schematisch geeft hij deze verbondenheid weer in onderstaande figuur:



De relaties tussen a, b, c en d zijn dus geen directe verbindingen. Bij systeemdenken is het dus, in tegenstelling tot causaal denken, niet belangrijk de directe verbinding tussen bijvoorbeeld a en b te vinden, maar wel het systeem waarbinnen ze verbonden zijn. In zijn

systeem kunnen de onderlinge verbindingen worden weergegeven als aAb, aAc; aAd; bAa; enz. Systeemdenken sluit causaal denken echter niet uit. Angyal merkt immers op dat systemen niet uit relaties kunnen worden afgeleid, maar anderzijds kan de afleiding van relaties vanuit het systeem wel. Het wordt nu ook duidelijk wat een ‘deel-geheel’-relatie inhoudt. De delen van een geheel zijn niet de afzonderlijke componenten, maar de ‘deel-geheel’-relatie wordt bepaald door de positionele waarde van de componenten binnen een bepaald geheel.

Het bestaan van relaties heeft specifieke beperkingen tot gevolg voor het gedrag van de componenten in het systeem en dus ook voor het gedrag van het systeem zelf. Kramer en De Smit illustreren dit met het volgende simpele voorbeeld. (Kramer en De Smit, 1991, blz. 26-27) Door het aanbrengen van een starre staaf tussen twee bollen ontstaat er een plaatsafhankelijkheid tussen de bollen. Als 1 bol nu naar links wordt bewogen, dan zal bol 2 niet tegelijkertijd, als de staaf tenminste star is, naar rechts kunnen bewegen. Er is dus een beperking opgetreden in de mogelijke gedragingen van bol 2, maar tevens ook in die van bol 1. Deze specifieke beperkingen worden bepaald door de aard van de relatie. In dit verband kunnen we een onderscheid maken tussen ‘relaties van een component ten opzichte van het geheel’ en ‘relaties van een component met andere componenten’. Het gedrag van een component kan dus geanalyseerd worden op het niveau van deze component in relatie tot andere. Anderzijds kan het gedrag worden geanalyseerd ten opzichte van het geheel. In het eerste geval is de component het uitgangspunt (bijvoorbeeld een individu), in het tweede geval het systeem als geheel (bijvoorbeeld de samenleving waarin het individu leeft). Het volgende voorbeeld is bedoeld ter illustratie van het onderscheid. (Shchedrovitzky in Kramer en De Smit, 1991, blz. 28-30) We beschouwen een plankje met 4 gaten, in elk gat ligt een knikker.

| | | |
|---|---|---|
| | 0 | |
| 0 | | 0 |
| | 0 | |

Deze configuratie is volledig beschreven met de eigenschappen van een ruit. Dit is een systeem¹⁰ want als we een van de knikkers zouden verwijderen, zou het karakter veranderen. We hebben dan namelijk geen ruit meer maar een driehoek. Wanneer één van de knikkers van positie verandert, heeft dit echter geen gevolg voor de positie van de andere knikkers,

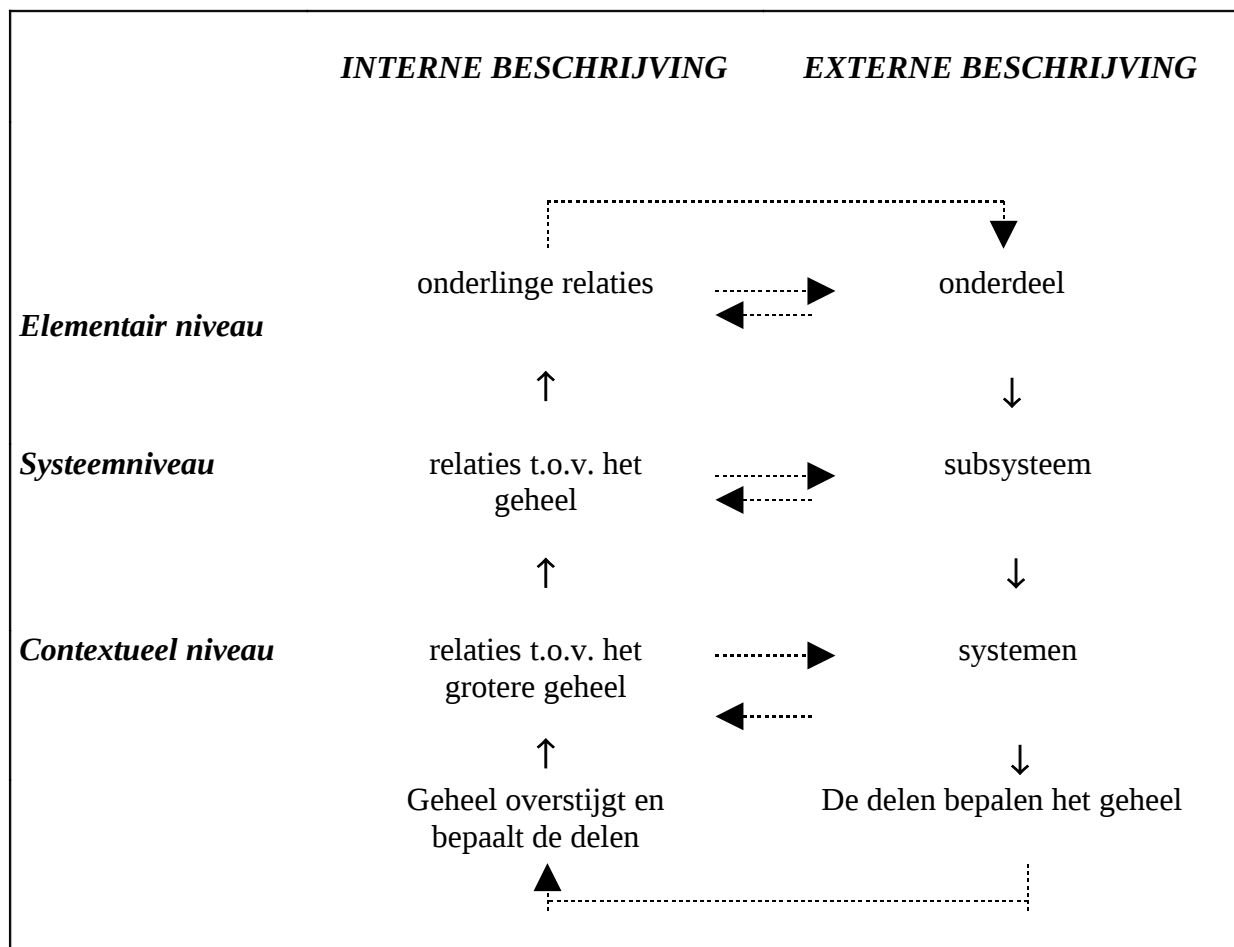
¹⁰ Als ‘netwerk van relaties’ is dit voorbeeld slechts een heel zwak systeem.

terwijl toch het geheel verandert. Het systeem wordt in dit voorbeeld dus bepaald door de relaties tot het geheel.

Nemen we nu hetzelfde voorbeeld, maar dan met veren tussen de knikkers aangebracht. Verplaatsing van één van de knikkers heeft nu een heel ander effect. Alle knikkers zullen enigszins meebewegen en onder invloed van de spankracht in de veren zal een nieuwe configuratie ontstaan, die echter nog veel op de oorspronkelijke lijkt. Er ontstaat zelfs weer een ruit als al de veren evenredig worden uitgerekt. Het systeemkarakter van de configuratie is dus behouden, maar de positie van alle componenten is gewijzigd. In dit geval zijn de componenten niet alleen met het geheel, maar ook met elkaar verbonden.

Dit voorbeeld stelt ons in staat een scherp onderscheid te maken tussen ‘relaties tot het geheel’ en ‘onderlinge relaties’. Dikwijls ligt het onderscheid echter niet zo scherp en is er een verband tussen beide. In een organisatie bijvoorbeeld wordt het gedrag van een afdeling niet alleen bepaald door haar functie tot het geheel, maar ook door de relaties tussen de afdelingen onderling. Een verandering van dat laatste relatiepatroon (bijvoorbeeld een reorganisatie) heeft vaak gevolgen voor de functievervulling en dus voor de bijdrage tot het geheel.

We kunnen nu de interne en externe beschrijving weer samenvatten in een schema, waaruit blijkt dat beide beschrijvingen een tegengestelde hiërarchie hebben.



Vanuit het begrip systeem wordt duidelijk hoe de interne relatie constituerend kan zijn, hoe de context de inhoud bepaalt. Zo herken je in je kind eigenschappen als gedeelde eigenschappen met verschillende systemen. De unieke eigenschappen van het kind zijn slechts specificaties van deze systeemeigenschappen. Zo merk je dat hij lacht met een familiegrap (familie-eigenschap), dat hij van school komt met kennis en gedragingen eigen aan de schoolgroep enz. In de hiërarchie van de interne beschrijving zijn wij eerst natuurlijke systemen, dan mensen, dan leden van een samenleving en cultuur, leden van een gezin en tenslotte individuen. Ons gedrag wordt namelijk bepaald door onze interactie met de leden van ons gezin, dat op zijn beurt in een interne relatie met andere gezinnen bepaald wordt door de samenleving en de cultuur. Uiteindelijk wordt dit alles bepaald door onze relatie met de rest van de wereld, door als natuurlijke systemen op een bepaalde manier met de omgeving in interactie te treden. Bekijken we het geheel vanuit een externe beschrijving, dan merken we hoe verschillende systemen kunnen samenwerken en een groter systeem tot stand brengen. Individueel vormen samen gezinnen, die samen met andere gezinnen een groter samenlevingsverband vormen, wat op zich weer vorm geeft aan een hele samenleving. We

merken bijvoorbeeld ook hoe systemen als ‘eenheid’ kunnen optreden. Koestler merkt bijvoorbeeld op dat cellen, spieren, zenuwen en organen hun eigen intrinsieke ritme en activiteitspatroon hebben en als quasi-autonome gehelen kunnen functioneren, terwijl ze toch alle als delen ondergeschikt zijn aan de hogere centra in de hiërarchie. Zo heeft men aangetoond dat hele organen het vermogen hebben om, uit het lichaam genomen en in vitro of in een ander lichaam geplaatst, te functioneren als quasi-zelfstandige gehelen.

1.7.2. Causaliteit¹¹

In het klassieke model van de wetenschap wordt causaliteit altijd lineair gezien. In deze visie worden de hogere niveaus veroorzaakt door de lagere en niet omgekeerd. Causaliteit gaat enkel vanuit het fysische niveau naar het biologische en het mentale. Dit wil bijvoorbeeld zeggen dat het feit dat ik verkouden ben een depressie kan veroorzaken, maar omgekeerd kan een depressie er niet de oorzaak van zijn dat ik een ziekte oploop. In systeemtheorie daarentegen maakt men gebruik van een circulair causaliteitsbegrip. Dit betekent dus dat hogere niveaus ook de lagere niveaus oorzakelijk kunnen beïnvloeden. Roger Sperry, die bekend werd voor zijn onderzoek naar de verschillende functies van de rechter- en linkerhersenhelft, drukt het als volgt uit:

“Basic revisions in concepts of causality are involved here; the whole, besides being ‘different from and greater than the sum of the parts, also causally determines the fate of the parts...It follows that physical science no longer perceives the world to be reducible to quantum mechanics or to any other unifying ultra element or field force. The qualitative, holistic properties at all different levels become causally real in their own form and have to be included in the causal account.” (Sperry in Hayward, 1987, blz. 236)

Vanuit dit circulair causaliteitsbeginsel kan ook het contradictieprincipe geherdefinieerd worden. Immers vanuit de dichotomie van het geheel zijn of het deel zijn kan een object tegengestelde eigenschappen vertonen. In systeemdenken vertrekt alles vanuit één enkele polariteit: alles is altijd deel van een groter geheel maar ook geheel van zijn subsystemen. Dit is niet enkel het gevolg van het circulair causaliteitsprincipe maar ook van het hiërarchisch model. Koestler vernoemt het beginsel van complementariteit als voorbeeld van deze polariteit:

¹¹ Het concept ‘causaliteit’ wordt hier in een zeer ruime betekenis gebruikt.

“Volgens dit beginsel, dat de hele moderne fysica beheerst, vertonen alle elementaire deeltjes - elektronen, fotonen, enz. - een tweeledig karakter van golven en deeltjes: naargelang de omstandigheden zullen zij zich gedragen als compacte materiekorrels of als golven zonder aanwijsbare grenzen. In onze zienswijze brengt het deeltjeskarakter van een elektron - en van elk ander elementair holon - zijn geheel-zijn en zijn zelf-assertieve potentie tot uitdrukking, terwijl het golf-karakter zijn deel-zijn en integratieve potentie tot uitdrukking brengt.” (Koestler, 1981, blz. 56-57)

We kunnen nu met behulp van ons schema aanduiden hoe circulaire causaliteit en lineaire causaliteit beide een rol spelen:

| | <i>Interne beschrijving (circulaire causaliteit)</i> | <i>Externe beschrijving (lineaire causaliteit)</i> |
|--------------------|---|---|
| Elementair niveau | Onderlinge relaties | Onderdeel |
| Systeemniveau | Relaties t.o.v. geheel | Subsysteem |
| Contextueel niveau | Relaties t.o.v. groter geheel | Systeem |

Circulaire causaliteit speelt zich vooral af binnen de interne beschrijving en lineaire causaliteit binnen de externe beschrijving. De hogere niveaus ‘veroorzaken’ de lagere niveaus bij circulaire causaliteit, bij lineaire causaliteit veroorzaken lagere niveaus de hogere. We hebben echter in het vorige hoofdstuk gezien dat de interne en de externe beschrijving mekaar kunnen beïnvloeden. Zo kan een subsysteem gedefinieerd worden binnen een nieuw referentiekader (externe beschrijving) en op die manier een verandering 2 creëren waardoor de interne relatie tussen de componenten van het subsysteem veranderen. Dit is het gevolg van wat Koestler het holonkarakter noemt. Iets kan zich gedragen als geheel of als deel. Op deze wijze kan circulaire en lineaire causaliteit mekaar afwisselen en door elkaar vloeien.

1.7.3. Interne verandering

Wanneer we gebruik maken van interne beschrijvingen, gaan we ervan uit dat de relatie bepalend is voor het gedrag van de onderdelen van een systeem. Deze relatie is de algemene functie waaraan het systeem voldoet. Ackoff onderscheid 4 typen van systemen: (Ackoff, 1974, blz 30-31)

| Type of system | Behavior of system | Outcome of behavior |
|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| State-maintaining | Variable but determined (reactive) | Fixed |
| Goal-seeking | Variable and chosen (responsive) | Fixed |
| Multi-goal-seeking and purposive | Variable and chosen | Variable but determined |
| Purposeful | Variable and chosen | Variable and chosen |

We bespreken elk type. Bij het eerste type is de functie ‘toestandsbehoudend’. Het ‘gedrag’ van het systeem of de interne relaties zijn zodanig dat het systeem als geheel een stabiele toestand behoudt. Dit systeem beantwoordt aan ‘verandering type 1’, hoe meer er verandert, hoe meer het systeem hetzelfde blijft. Een voorbeeld is een verwarmingssysteem, dat het temperatuurniveau steeds op een constante waarde houdt. Een tweede type is ‘doelzoekend’. De functie kan hier voorgesteld worden in de vorm van een limiet (het doel). Al het gedrag en de interactie tussen de delen zijn zodanig geconfigureerd dat de functie (het doel) zo goed mogelijk bereikt wordt. Ook hier zien we weer dat hoe meer er verandert, hoe meer er hetzelfde blijft. De veranderingen spelen zich namelijk af ‘binnen’ het systeem, maar het systeem zelf als geheel blijft onveranderd. Een voorbeeld is een systeem met automatische piloot of een rat die zijn weg zoekt in een doolhof. Een derde type is het systeem dat verschillende doelen heeft. De functie is hier een disjunctie van verschillende limietfuncties. Welke doel wordt nagestreefd is afhankelijk van de initiële toestand van het systeem. Een voorbeeld is een computer die geprogrammeerd is om verschillende spelletjes te spelen. Naargelang het spel dat gekozen is, wordt het doel (winnen) nagestreefd. Hoewel er dus verschillende doelen zijn, hebben alle doelen een eigenschap gemeen (nl. winnen). De keuze tussen de doelen (welk spel gewonnen moet worden) is een gegeven voor het systeem. Ongeacht de begintoestand blijft de regel dat hoe meer er verandert, hoe meer er gelijk blijft. Een laatste type is het doelgerichte systeem. Kenmerkend voor dit type systeem is dat de functie onbepaald is. Het systeem kan verschillende doelen nastreven, die niet van tevoren vastliggen. Wij mensen zijn typische voorbeelden van zo’n systemen. Ook hier blijkt dat bij eens een doel is gekozen, hoe meer er verandert, hoe meer er hetzelfde blijft.

Ackoff maakt verder nog een onderscheid tussen ‘variety increasing’ en ‘variety reducing’ systemen. Bij het eerste vertoont het systeem een hoger gedragsniveau dan de onderdelen. Bij het tweede vertoont het systeem een gedrag van een lager niveau dan één van de onderdelen. Een systeem is ofwel ‘variety increasing’ ofwel ‘variety reducing’. We kunnen

dit vergelijken met Watzlawicks these dat communicatie ofwel complementair is ofwel symmetrisch.

”Elke uitwisseling van communicatie is ofwel symmetrisch ofwel complementair, al naar gelang ze gebaseerd is op gelijkheid of verschil.” (Watzlawick e.a., 1970, blz. 61)

Als de gedragspatronen van partners elkaars spiegelbeeld zijn wordt hun interactie symmetrisch genoemd. Een voorbeeld is de concurrentiestrijd, waarin opschepperij leidt tot grotere opschepperij. Als gedragspatronen elkaar aanvullen spreken we van complementaire interactie. Een voorbeeld is onderdanigheid versus dominantie. Het is hierbij niet zo dat de ene partner de ander een complementaire houding oplegt, maar het is eerder zo dat elk zich gedraagt op een wijze die het gedrag van de ander veronderstelt en daar tegelijkertijd de motivatie voor verschaft, hun definities van de betrekking sluiten bij elkaar aan.

1.7.4. Externe verandering

Wanneer we het systeem gaan beschouwen als een naar buiten tredende entiteit met bepaalde eigenschappen, schakelen we over naar een externe beschrijving. Tot op zekere hoogte kan de beschrijving van open systemen als ‘black boxes’ in relatie met de omgeving gezien worden als een externe beschrijving. ‘Tot op zekere hoogte’ omdat systemen toch altijd gezien worden als relationele gehelen en niet als substanties met eigenschappen. Op het moment dat we zo’n systeem echter gaan beschouwen als een ‘eenheid’ of een ‘black box’ in interactie met de omgeving, leggen we wel meer nadruk op het eenheidsaspect. Met andere woorden het gaat om een ‘gestabiliseerde interne relatie’. Eens we gebruik maken van een ‘black box’ kunnen we niet meer terug naar wat er ‘in’ deze black box zit. Met andere woorden, we maken abstractie van de mogelijke veranderingen ‘in’ het systeem en kijken alleen naar de wisselwerking met de omgeving in termen van input en output.

Het betekent dat het systeem op een bepaalde manier wordt gedefinieerd. We kunnen op dit niveau alleen beschrijvingen ‘van’ het systeem bespreken. Datzelfde systeem dat we als black box beschouwden, kan echter ook op een interne manier beschreven worden. Wanneer we deze interne beschrijving maken vanuit de definitie van het systeem als black box, vinden we echter niet meer de ‘oorspronkelijke’ interne relatie, maar een gewijzigde. Hiermee ‘veranderen’ we de interne relatie, zoals voorheen uitgelegd. Laten we dit illustreren aan de hand van een voorbeeld. Een verwarmingssysteem staat afgesteld op een bepaald aantal graden, laten we zeggen 20°. De interne functie bepaalt hoe de onderdelen onderling samenwerken om een bepaalde temperatuur constant te houden. Als we het systeem als een

‘black box’ beschouwen, stellen we de temperatuur vast op 20°, waarmee we de functie omzetten in een propositie. Als we nu nagaan hoe het systeem reageert op een stimulus van de omgeving (temperatuurdaling) bijvoorbeeld, dan merken we dat het systeem zich intern zodanig aanpast dat de temperatuur terug 20° wordt. Hoe meer er verandert, hoe meer alles gelijk blijft. Het lijkt alsof het systeem een entiteit is met ‘20°’ als eigenschap. Wanneer we echter ‘ingrijpen’ op het systeem door de thermostaat te verzetten naar bijvoorbeeld 30°, dan krijgen we een verandering type 2. De interne relatie zelf is gewijzigd. De oorspronkelijke functie is nu een nieuwe functie. In dit geval lijkt de functie nog erg op de vorige. Er is een equivalentie tussen de eerste functie en de tweede, de tweede is alleen verschoven ten opzichte van de eerste, maar de onderlinge verhoudingen tussen de relatie zijn equivalent. Veronderstel nu dat onderdeel A uit het systeem dat is afgesteld op 20° in staat is om de thermostaat te verzetten. In dat geval wordt de interne relatie gewijzigd en moet onderdeel A bij 20° tegengesteld gedrag vertonen. Het betekent dat een onderdeel van een systeem tevens deel kan uitmaken van de omgeving van dat systeem en op het systeem als geheel ingrijpen. Dit is een vertaling van de paradox van Tarski.

1.7.5. Complementaire processen

We kunnen een systeem zien als het resultaat van een wordingsproces, een interne relatie. Het resultaat is een min of meer stabiel iets, een entiteit, die als externe eenheid kan optreden ten opzichte van de omgeving. De wisselwerking tussen het systeem als interne relatie-eenheid en het systeem als extern geheel is de oorzaak van nieuwe orde. Ik zal dit punt nog verder uitwerken aan de hand van de theorieën van Prigogine.

1.8. Epistemologie in systeemdenken

De rol van de ‘waarnemer’ is in systeemdenken totaal anders dan in de klassieke epistemologische benaderingen, waarin men ervan uitging dat er een onafhankelijke werkelijkheid is, waarvan de structuur of eigenschappen door middel van onze zintuigen kon gekend worden:

“Even when we strip the content of experience of emotional overtones and intellectual bias, the residue is still likely to be a mirroring of the nature of the percipient rather than the nature of the percipendum; the neat division of the cognitive processes into a spectator here and a spectacle there does not apply. In recent decades, system

theorists, including this writer, have remarked: “a new concept of man has evolved: he is now thought of as an active system built or ‘thrown’ into the envioning world. His knowledge of the world is no longer conceived as that of a disinterested spectator who sees what encounters his eye; the existential behavior of the human being in his surrounding medium has emerged as a vital determinant of his cognition.” (Laszlo, 1972a, blz. 197)

Kennis is dus geen passief registreren van informatie door middel van input in onze zintuigen, maar een actieve constructie en reconstructie door middel van de continue wisselwerking tussen het individu en zijn natuurlijke en sociale omgeving. Om dit onderscheid te verduidelijken kunnen we een beroep doen op de inzichten uit de theorieën over informatie en communicatie. Hieruit blijkt namelijk dat informatie een ‘relationeel’ begrip is. Dit inzicht is duidelijk te zien in de manier waarop er in onze samenleving met informatie wordt omgegaan. Organisaties en bedrijven communiceerden vroeger louter ‘inhoud’. Men ging ervan uit dat wat bedoeld werd ook werd overgebracht. Men dacht dat de boodschap (de inhoud) perfect kon worden overgebracht naar de ontvanger. Het enige wat eventueel kon mislopen is dat de ontvanger een andere taal spreekt, waardoor er niets van de inhoud zou overkomen. Ondertussen hebben inzichten in informatie en communicatie een totale ommezwaai gegeven in de manier waarop bedrijven met hun communicatie omgaan. Wat de ontvanger als boodschap krijgt is immers mee bepaald door het referentiekader van de ontvanger, de toon van de boodschap, het statuut van de zender enz. Bedrijven huren daarom specialisten in om de boodschap op zodanige manier te verpakken dat de ontvanger ervan zal maken wat de zender bedoelde.

Vermits ‘informatie’ dus essentieel relationeel is wordt het betekenisloos om te vragen wat de ‘reële wereld’ buiten de kenner betekent. Buckley spreekt daarom van “the fully transactional nature of the relationships between knower and external world.”:

“the individual is not simply a passive receiver and recorder of incoming signals and sense data, but actively contributes additional information as well as helps to construct the particular framework or organization of the internal knowledge reference set that alone gives meaning to additional signals generated from without or from within (e.g., by thought or by emotion). Additional information and knowledge structure are no doubt added, then, by the basic physical structure of the peripheral, central, and autonomic nervous systems; by on-going feedback from various phases of the total transaction of the organism as an open system adapting to or goal-seeking in its

environment; and by the sociocultural processes, including language and other symboling, in which the individual and his information-processing activities are constantly embedded.” (Buckley, 1972b, blz. 192)

In systeemfilosofie is ‘observeren’ dus ‘participeren’ geworden. Dit blijkt verder ook uit het grondbegrip zelf: het systeem is niet iets dat we kunnen voorstellen. (Cauffman & Vanmarcke, 1985, blz. 84) Wat we overigens als systeem beschouwen en wat als omgeving is een keuze van de onderzoeker. Zo kunnen we bijvoorbeeld in familietherapie het gezin zelf (ouders en kinderen) als systeem bestuderen of de uitgebreide familie (ouders, kinderen en grootouders). Het onderscheid systeem-omgeving verandert dan. Een veelgebruikte praktijk is ook het team psychologen achter het venster. Eén psycholoog ‘behandelt’ het gezin en wordt op zijn beurt gadeslagen door een team collega’s, die op hun beurt het geheel bestuderen. Op die manier kunnen de collega’s nagaan in hoeverre de behandelende psycholoog niet teveel betrokken wordt in het systeem.

2. Prigogines dissipatieve systemen

2.1. *Inleiding*

De wisselwerking tussen systeem als interne relatie-eenheid en het systeem als extern geheel kan de oorzaak zijn van nieuwe orde. In dit hoofdstuk zal ik nagaan in hoever de theorie over externe en interne beschrijvingen en relaties kan worden toegepast op Prigogines theorie van dissipatieve systemen.

2.2. *Thermodynamica*

Thermodynamica beschreef oorspronkelijk de warmte- en arbeidseffecten die kunnen optreden bij een wisselwerking tussen een systeem en zijn omgeving. Nu is thermodynamica uitgebreid tot de studie van transformaties van energie in alle vormen.

De belangrijkste basishypothesen zijn de eerste en de tweede hoofdwet.

De eerste hoofdwet (ook: wet van behoud van energie) zegt dat energie wel kan worden omgezet van bijvoorbeeld potentiële energie naar kinetische of van arbeid naar warmte, maar aan deze kwalitatieve omzetting ligt een kwantitatieve gelijkheid ten grondslag: de hoeveelheid energie blijft altijd gelijk. Zo heeft bijvoorbeeld een voorwerp op tafel potentiële energie tengevolge van de plaats die het inneemt in het zwaartekrachtsveld van de aarde. Als we dit voorwerp laten vallen, zal de potentiële energie worden omgezet in bewegings- of kinetische energie. Hoewel er dus een transformatie is van de ene soort energie naar de andere stelt de eerste wet dat de hoeveelheid energie gelijk blijft doorheen de transformatie.

De tweede hoofdwet zegt dat warmte nooit kan overgaan van lagere naar hogere temperatuur (formulering van Clausius) of dat warmte niet volledig kan worden omgezet in arbeid wanneer men niet over nog een krachtbron beschikt (formulering van Thomson-Kelvin). Dit betekent dus dat mechanische energie wel volledig in hitte kan worden omgezet maar een totale transformatie van hitte naar mechanische energie is onmogelijk.

Carnot had zich reeds gerealiseerd dat de productie van mechanische energie samengaat met een verlaging van temperatuur. Dit kan worden geïllustreerd aan de hand van de werking van een warmtemotor. In de eerste plaats heeft de warmtemotor een warmtebron nodig en een plaats waar het koud is. Vervolgens is er een uitwendige krachtbron nodig om de energie in

omgekeerde richting van koud naar warm te laten stromen. Het feit dat er arbeid moet worden verricht om deze onnatuurlijke stroming mogelijk te maken, komt overeen met Thomsons formulering van de tweede wet. Indien we warmte spontaan konden laten bewegen van warm naar koud zouden we een vicieuze warmtecirkel kunnen creëren waardoor de motor zou kunnen werken zonder krachtbron. Dit wordt ook de perpetuum mobile van de tweede soort genoemd omdat ze strijdig is met de tweede hoofdwet.

In 1865 introduceerde Clausius een nieuw concept: entropie met symbool S waardoor de tweede wet van thermodynamica werd geherformuleerd als volgt: de entropie van een geïsoleerd systeem kan stijgen of gelijk blijven. Dit begrip vat Clausius' en Kelvins versie van de tweede wet samen. Deze wordt dan geherformuleerd als volgt:

“Natural processes are accompanied by an increase in the entropy of the world.”
(Atkins, 1984, blz. 32)

Op basis van het entropiebegrip kan worden uitgemaakt of een gegeven eindtoestand al dan niet spontaan uit een zekere begintoestand kan worden bereikt. Men kan dus onderscheid maken tussen toestanden die qua energie spontaan kunnen bereikt worden van andere mogelijke toestanden waarvoor dat niet kan. De entropiewet is dus eigenlijk de fysische vertaling van wat we allen reeds lang wisten: een leeggelopen fietsband loopt niet vanzelf terug vol met lucht, uit rook kan niet terug een gave sigaret ontstaan.

Tot nu toe beperkten we ons tot een geïsoleerd systeem. Indien er uitwisseling is met de omgeving is het wel mogelijk dat warmte naar een koude plaats vloeit zoals in het geval van een ijskast. De tweede wet wordt hier evenwel behouden door energietoevoer van een motor. Ook als we een glas warm water laten staan, zal dit afkoelen (entropie vermindert). Beschouwt men echter heel de omgeving, of zelfs heel het universum, dan zal blijken dat de entropie wel is toegenomen. De variatie van entropie kan dan worden geschreven als de som van $\delta_1 S$ (resultaat van fenomenen binnen het systeem) en $\delta_2 S$ (uitwisseling van het systeem met de omgeving:

$$\delta S = \delta_1 S + \delta_2 S$$

In het geval $\delta_1 S = 0$ hebben we te maken met reversibele processen. In het geval $\delta_1 S > 0$ hebben we echter te maken met irreversibele processen. (Prigogine, 1961, blz. 14-16)

Vermits entropietoename enkel van toepassing is op geïsoleerde systemen is enkel de factor $\delta_1 S$ verantwoordelijk voor de entropietoename: $\delta_1 S \geq 0$.

De stijging van entropie correspondeert dus met de spontane evolutie van het systeem en kan daarom worden gezien als een indicator van evolutie of van de ‘tijdpijl’.

Indien we het hele universum als geïsoleerd systeem beschouwen kunnen de twee wetten van de thermodynamica een kosmologische formulering krijgen. Clausius drukte dit in 1865 als volgt uit:

“Die Energie der Welt ist konstant.

Die Entropie der Welt strebt einen Maximum zu.” (Clausius, geciteerd in Prigogine en Stengers, 1984, blz. 119)

2.3. *Thermodynamica versus dynamica*

De tweede wet van de thermodynamica is inconsistent met de reversibele wetten van de dynamica. Immers, in principe zou je Newtons bewegingswetten moeten kunnen gebruiken om het vervliegen van energie op het moleculaire niveau te beschrijven in termen van reeksen botsingen. Elk van die botsingen is een omkeerbaar proces, dus is er geen enkele reden waarom het hele proces niet in de omgekeerde richting zou kunnen verlopen. Het energieverlies, dat op het macroscopische niveau volgens de tweede hoofdwet en onze dagelijkse ervaring onomkeerbaar is, lijkt dus op het microscopische niveau te bestaan uit volledig omkeerbare gebeurtenissen. Waar dan sluipt die onomkeerbaarheid in? Dat mysterie werd rond de eeuwwisseling bestudeerd door de Oostenrijkse natuurkundige Ludwig Boltzmann. Hij gaf een nieuwe betekenis aan het begrip entropie en legde een verband tussen entropie en orde. Boltzmann redeneerde als volgt. Stel we nemen een doos die door een imaginaire wand in tweeën is gedeeld en acht herkenbare moleculen die we elk een nummer geven. Op hoeveel manieren kunnen we die deeltjes in de doos verdelen zodat er steeds een bepaald aantal aan de linkerkant en de rest aan de rechterkant zit? Laten we eerst alle acht deeltjes aan de linkerkant doen. Dat kan maar op één manier. Maar, als we er zeven in de linkerhelft en één in de rechterhelft doen, dan kan dat op acht verschillende manieren, omdat het deeltje rechts elk van de acht deeltjes kan zijn. Omdat de deeltjes herkenbaar zijn, kunnen we die acht mogelijkheden als verschillende rangschikkingen beschouwen. Op eenzelfde manier berekend zijn er 28 verschillende rangschikkingen met zes deeltjes links en twee rechts. We kunnen voor al die permutaties gemakkelijk een algemene formule afleiden: het aantal mogelijkheden P , waarbij N moleculen kunnen worden verdeeld over de twee compartimenten in groepen N_1 en N_2 wordt dan gegeven door de formule:

$$P = \frac{N!}{N_1! N_2!}$$

waarbij $N! = N(N-1)(N-2)\dots 3.2.1$.

Uit deze formule blijkt dat het aantal mogelijkheden toeneemt naarmate het verschil tussen de aantallen links en rechts kleiner wordt, met een maximum van 70 verschillende rangschikkingen als er aan beide kanten vier deeltjes zitten.

Boltzmann bracht de rangschikkingmogelijkheden in verband met het ordebegrip: hoe kleiner het aantal, hoe hoger de orde. Dus in ons voorbeeld vertoont de eerste toestand, met acht deeltjes aan één kant, de hoogste orde, terwijl de gelijke verdeling met vier deeltjes aan elke kant overeenkomt met de maximale wanorde. Bij de maximumwaarde van P zal :

$$N_1 \cong N_2 \cong N/2$$

Hoe hoger het aantal mogelijkheden dus, hoe groter de wanorde en hoe waarschijnlijker de toestand wordt. Boltzmann concludeerde dat de gang van orde naar wanorde er een is van onwaarschijnlijke naar een waarschijnlijke toestand. Door entropie en wanorde te vereenzelvigen met het aantal verdelingsmogelijkheden verkreeg hij een definitie van entropie in termen van waarschijnlijkheid. De verhoging van entropie is dan niet meer dan de uiting van de wet van waarschijnlijkheid. Het is veel waarschijnlijker dat het systeem evolueert naar een toestand van wanorde (grotere entropie) dan naar een ordening. Entropie stijgt dus omdat waarschijnlijkheid stijgt.

2.4. *Niet-lineaire systemen*

Niet-lineaire systemen zoals turbulente water- en luchtstromen zijn ingewikkeld om op te lossen en onderzoek ernaar werd om die reden en mede door het schijnbaar chaotische karakter van de verschijnselen zelf vermeden. Differentiaalvergelijkingen worden 'lineair' genoemd als alle afhankelijke variabelen¹² in de eerste macht optreden, waarbij onafhankelijke variabelen als hogere macht mogen voorkomen, en 'niet-lineair' als afhankelijke variabelen in hogere machten optreden.

Het onderzoek van de afgelopen decennia naar niet-lineaire systemen heeft een diepgaande invloed gehad op de wetenschap als geheel omdat het ons dwong tot een heroverweging van een aantal heel fundamentele ideeën over de relaties tussen een wiskundig model en de

¹² Wiskundigen maken onderscheid tussen afhankelijke en onafhankelijke variabelen. In de functie $y = f(x)$ is y de afhankelijke en x de onafhankelijke variabele.

verschijnselen die het beschrijft. Een van die ideeën betreft onze voorstelling van eenvoud en ingewikkeldheid.

In de wereld van de lineaire vergelijkingen gedroegen systemen beschreven door eenvoudige vergelijking zich eenvoudig, terwijl systemen beschreven door ingewikkelde vergelijkingen complex gedrag vertoonden. In de niet-lineaire wereld daarentegen kunnen eenvoudige deterministische vergelijkingen een onverwachte rijkdom en variatie aan gedrag opleveren. Anderzijds kan ingewikkeld en schijnbaar chaotisch gedrag leiden tot geordende structuren. Een andere eigenschap van niet-lineaire vergelijkingen is dat precieze voorspellingen vaak onmogelijk zijn, zelfs als de vergelijkingen zuiver deterministisch zijn. Een derde eigenschap is het geval van het veelvuldig optreden van zelfversterkende terugkoppelingsprocessen. In lineaire systemen leiden kleine veranderingen tot kleine effecten, en grote effecten zijn het gevolg van een grote verandering of van de som van een groot aantal kleine veranderingen. In niet-lineaire systemen daarentegen, kunnen kleine veranderingen dramatische effecten hebben omdat ze door zelfversterkende terugkoppeling herhaaldelijk kunnen worden versterkt. Zulke niet-lineaire terugkoppelingsprocessen vormen de basis van instabiliteiten en het plotseling optreden van nieuwe vormen van orde die zo kenmerkend zijn voor zelforganisatie. (Capra, 1996, blz. 125-128)

2.4.1. Onvoorspelbaarheid

Prigogine omschrijft een instabiel systeem als volgt:

Un système instable (...) est un système pour lequel, même si l'on connaît bien la région dans laquelle se trouve initialement le système, cette région se fragmente de manière telle que l'on ne peut dire où un point donné va se trouver. Dans certains cas l'incertitude est comparable à celle d'un joueur devant un dé : on appelle de tels systèmes des systèmes de Bernouilli. (Prigogine, 1988, blz. 161)

Dit betekent dus dat uit een gegeven begintoestand de verdere evolutie van het systeem niet kan worden voorspeld. Een minieme afwijking in de begintoestand kan leiden tot buitensporige afmetingen. We kunnen dit illustreren aan de hand van een wijd uitslaande slinger. (Bodifée, 1988, blz. 156-157) Een gewicht hangt aan een onbuigbare staaf en kan wentelen om een vaste as. Het gewicht zal heen en weer slingeren onder invloed van de zwaartekracht en de eigen traagheid. Wanneer we nu de snelheid en de plaats van het gewicht kunnen bepalen op een gegeven ogenblik, kunnen we in principe plaats en snelheid voor elk tijdstip berekenen. Als echter wordt vastgesteld dat de slinger een uitwijking van 180° kan

halen, is de voorspelbaarheid niet verzekerd. Het gewicht bereikt dan een uiterste stand verticaal boven het ophangpunt. Een miniem verschil in de energie van de slinger beslist over het terugvallen of over kop gaan van de slinger. Voorspelbaarheid is dus niet verzekerd; het probleem is inherent aan de situatie, en door verbeterde waarnemingstechnieken nooit goed op te lossen.¹³

2.4.2. Het vlindereffect

Wiskundig gezien correspondeert een terugkoppelingskring met een speciaal soort niet-lineair proces dat als iteratie bekend staat en waarin een functie steeds opnieuw zichzelf bewerkt. Een voorbeeld is de ‘bakkertransformatie’. (Capra, 1996, blz. 129-130) Neem in volgende vergelijking $k = 3$:

$$x \rightarrow kx(1-x)$$

De variabele x kan worden voorgesteld als een lijnstuk van 0 tot 1, en het is gemakkelijk om voor een aantal punten de afbeeldingen te berekenen, bijvoorbeeld:

$$0 \rightarrow 0(1-0) = 0$$

$$0,2 \rightarrow 0,6(1-0,2) = 0,48$$

$$0,4 \rightarrow 1,2(1-0,4) = 0,72$$

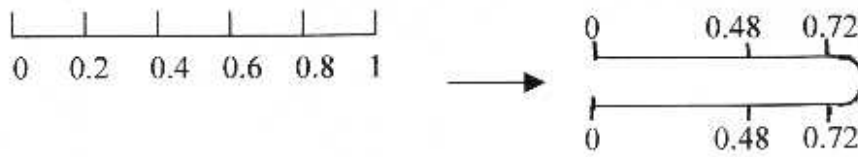
$$0,6 \rightarrow 1,8(1-0,6) = 0,72$$

$$0,8 \rightarrow 2,4(1-0,8) = 0,48$$

$$1 \rightarrow 3(1-1) = 0$$

Als we die getallen aangeven op twee lijnstukken, dan zien we dat de getallen tussen 0 en 0,5 worden afgebeeld op getallen tussen 0 en 0,75: 0,2 wordt afgebeeld op 0,48 en 0,4 op 0,72. Getallen tussen 0,5 en 1 worden op hetzelfde lijnstuk afgebeeld maar in omgekeerde volgorde.

¹³ Er zijn rond deze voorspelbaarheid verschillende meningen. Sommigen menen dat voorspelbaarheid in principe wel mogelijk is, maar in praktijk niet omwille van onze gebrekkige waarnemingstechnieken. Anderen, waaronder Prigogine gaan ervan uit dat de ontdekking van chaotische systemen het deterministische beeld van de fysica aantasten.



We zien dat de afbeelding¹⁴ het lijnstuk zo uitrekt dat het van 0 tot 0,75 loopt, en vervolgens over zichzelf terugvouwt, met als gevolg een lijnstuk dat van 0 to 0,75 en weer terugloopt. Een iteratie van deze afbeelding zal leiden tot herhaalde rek- en vouwoperaties, die veel lijkt op de manier waarop een bakker zijn deeg kneedt. Die iteratie wordt daarom de ‘bakkertransformatie’ genoemd. Naarmate het rekken en vouwen voortgaat, raken naast elkaar gelegen punten op het lijnstuk verder en verder van elkaar verwijderd, en het is onmogelijk om te voorspellen waar een bepaald punt na een lange reeks van iteraties zal terechtkomen.

De ontdekking van deze chaotische systemen tast volgens Prigogine het klassieke deterministische beeld van de fysica (zoals die werd geformuleerd door Laplace) aan. Men ging ervan uit dat in principe alles voorspelbaar is, op voorwaarde dat we een correcte kennis hebben van de beginvoorwaarden. De enige belemmering voor een volledig deterministische wereld was het feit dat absolute wiskundige nauwkeurigheid niet fysisch realiseerbaar was. Er zullen steeds kleine onnauwkeurigheden optreden; Om tot een bruikbare theorie te komen nam men een soort ‘pragmatisch determinisme’ aan: bijna identieke oorzaken geven aanleiding tot bijna identieke gevolgen. (Vanderbauwhede, 1989, blz. 14) In de chaostheorie noemt men dit fenomeen het ‘vlindereffect’ vanwege de schertsende bewering dat een vlinder die vandaag in Peking de lucht beweegt de oorzaak kan zijn van een storm volgende maand in New York.

Poincaré schrijft hierover het volgende:

“A very small cause which escapes our notice determines a considerable effect that we cannot fail to see, and then we say that the effect is due to chance. If we knew exactly

¹⁴ Figuur overgenomen uit Capra, 1996, blz. 130.

the laws of nature and the situation of the universe at the initial moment, we could predict exactly the situation of that same universe at a succeeding moment. But even if it were the case that the natural laws had no longer any secret for us, we could still only know the initial situation approximately. If that enabled us to predict the succeeding situation with the same approximation, that is all we require, and we should say that the phenomenon had been predicted, that it is governed by laws. But it is not always so; it may happen that small differences in the initial conditions produce very great ones in the final phenomena. A small error in the former will produce an enormous error in the latter. Prediction becomes impossible, and we have the fortuitous phenomenon.” (Poincaré, geciteerd in Crutchfield e.a., 1986, blz. 39)

In de Bakertransformatie blijkt inderdaad dat punten met bijna dezelfde beginvoorwaarden (punten die naast elkaar liggen) na verloop van tijd ver uit elkaar liggen.

Poincaré ging er echter, evenals Laplace vanuit dat voorspelbaarheid in principe wel mogelijk is en dat toevalselementen enkel een uiting zijn van ons gebrek aan kennis van de oorzaken. Chaotische systemen hebben echter de eigenschap dat een betere kennis van de beginvoorwaarden ons niet toelaten te voorspellen hoe de individuele trajecten zullen verlopen.

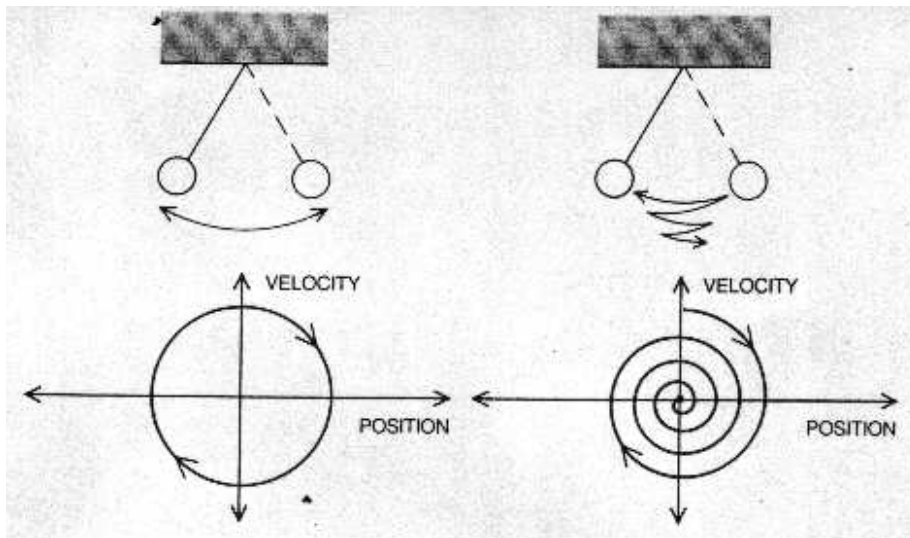
2.4.3. De faseruimte

De wiskundige technieken die onderzoekers de afgelopen dertig jaar in staat stelden om geordende patronen in chaotische systemen te ontdekken, zijn gebaseerd op Poincarés topologische benadering, en nauw verbonden met de ontwikkeling van computers.

Voor de meeste niet-lineaire vergelijkingen zijn analytische oplossingen¹⁵ te moeilijk. Een andere manier is de ‘numerieke’ oplossing. Je probeert dan gewoon proefondervindelijk verschillende combinaties van waarden voor de variabelen uit tot je een combinatie vindt die past. Met nieuwe en krachtige computers werd deze methode bruikbaar. Het resultaat van deze methode is echter geen formule maar een grote verzameling van waarden voor de variabelen die aan de vergelijking voldoen. Om die geordende patronen zichtbaar te maken worden de variabelen uitgezet in een abstracte wiskundige ruimte, de ‘faseruimte’. We kunnen dit illustreren met een simpel voorbeeld. (Capra, 1996, blz. 133-134) : een bal die aan een slinger heen en weer gaat. Om de beweging van de slinger volledig te beschrijven hebben

¹⁵ Een vergelijking ‘analytische’ oplossen betekent dat je de vergelijking herschrijft tot je een definitieve formule als oplossing krijgt. Het resultaat is altijd een formule.

we twee variabelen nodig: de hoek en de snelheid, die beide positief of negatief kunnen zijn. In een cartesiaans coördinatenstelsel corresponderen de punten met de mogelijke bewegingstoestanden van de slinger. Bij de grootste uitwijking is de snelheid nul. Dat geeft ons twee punten op de horizontale as. In het midden, waar de hoek nul is, is de snelheid maximaal (positief naar de ene richting en negatief naar de tegenovergestelde richting). Dat geeft twee punten op de verticale as. Die vier punten in de faseruimte geven de uiterste toestanden van de slinger: maximale uitslag en maximale snelheid. Als we ook de andere punten op het stelsel uitzetten, merken we dat het geheel een cirkel wordt. (zie figuur) Die kromme heet de 'baan' van de slinger in de faseruimte. Elk punt op deze kromme beschrijft dus het gehele systeem. Terwijl de slinger heen en weer gaat draait het punt in de faseruimte rondjes langs die baan.



Als het systeem geen simpele slinger is maar iets veel ingewikkelder, dan heeft het meer variabelen, maar de techniek blijft hetzelfde. Als er bijvoorbeeld 16 variabelen zijn dan krijgen we een 16-dimensionale ruimte. Ook nu zal een enkel punt in die ruimte de toestand van het systeem compleet beschrijven.

De slinger in ons voorbeeld was een geïdealiseerde slinger, die zonder wrijving in een eendeloze beweging heen en weer gaat. Een echte slinger ondergaat altijd wrijving, waardoor hij wordt vertraagd zodat hij uiteindelijk stilvalt. In de tweedimensionale faseruimte krijgt die beweging de vorm van een kromme die in een spiraal naar een centrum gaat. (zie figuur) Het lijkt nu alsof de kromme in de faseruimte wordt aangetrokken tot dat punt. Men drukt dit uit

door te zeggen dat de ‘attractor’ één punt is. Attractors kunnen echter nog veel gecompliceerder zijn. Men spreekt dan van ‘strange attractors’

2.4.4. Dissipatieve structuren

Entropie kan worden vertaald naar toenemende wanorde, chaos en uniformiteit. Prigogine herinterpreteert de tweede wet van de thermodynamica zodanig dat entropie onder bepaalde voorwaarden kan leiden tot orde.

Entropieproductie doet zich enkel voor in systemen uit evenwicht. Deze systemen zijn immers het toneel van irreversibele processen. De vraag is nu hoe deze entropieproducerende processen zich zodanig kunnen organiseren dat zij zelf voortbrengers worden van georganiseerde systemen.

Prigogine en zijn medewerkers richten hun aandacht op open systemen, die onder invloed van de omgeving permanent uit evenwicht worden gehouden, zodat ze toneel zijn van aanhoudende irreversibele processen.

Voor systemen uit evenwicht kunnen we nog een onderscheid maken tussen systemen dicht bij evenwicht en systemen ver van evenwicht. Het eerste geval doet zich voor wanneer bepaalde grensvoorwaarden een systeem beletten te evolueren naar een evenwicht. Het systeem zal dan pogen de evenwichtstoestand zo goed mogelijk te benaderen, d.w.z. het systeem zal evolueren naar een staat met zo weinig mogelijk entropieproductie. Het zijn echter vooral de systemen ver uit evenwicht die Prigogine interesseren. Deze systemen zijn namelijk onderhevig aan niet-lineaire processen. In een systeem dicht bij evenwicht is er een lineair verband tussen b.v. een temperatuurverschil en de erdoor opgewekte warmtestroom, of tussen een concentratieverschil in chemische stoffen en de snelheid waarmee deze zich doorheen de oplossing verplaatsen. In een systeem ver uit evenwicht treden ook meer ingewikkelde niet-lineaire effecten op:

“In contrast with close-to-equilibrium situations, the behavior of a far-from-equilibrium system becomes highly specific. There is no longer any universally valid law from which the overall behavior of the system can be deduced. Each system is a separate case; each set of chemical reactions must be investigated and may well produce a qualitatively different behavior.” (Prigogine en Stenger, 1984, blz. 144-145)

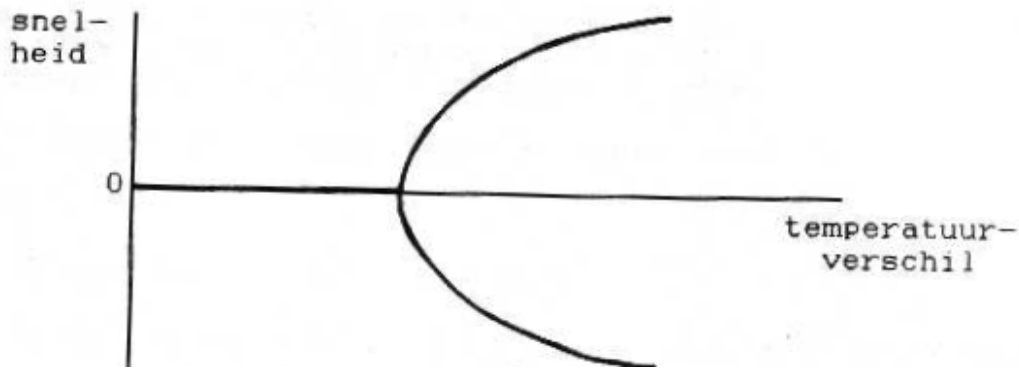
Een voorbeeld van een systeem ver uit evenwicht is de instabiliteit van Bénard. Veronderstel een systeem in thermisch evenwicht nl. een laag vloeistof waarvan de temperatuur uniform is.

We verwarmen nu de vloeistof onderaan. De temperatuur zal nu in de laagste regionen hoger zijn dan in de hogere regionen, maar alle punten in een verticale lijn zullen een gelijke temperatuur hebben. Verwarmen we echter nog verder dan zullen de warmere moleculen warmte overbrengen naar de koudere. Dit gaat dan gepaard met cirkelbewegingen in de vloeistof, waardoor de ruimtelijke symmetrie wordt verbroken. Er vormen zich dan roterende cilindervormige stroompatronen. De naast elkaar liggende vloeistofcilinders (Bénardcellen genoemd) wentelen alternerend in wijzerzin en in tegenwijzerzin. Verwarmen we nog verder, dan zullen er nog complexere bewegingen ontstaan. Dit soort bewegingen noemt Prigogine ‘*corrélations à longue portée*’. (Prigogine en Stengers, 1988, blz. 53) Belangrijk is hierbij dat het gedrag van de moleculen afzonderlijk enkel begrijpelijk is als men ze ziet als deel van het geheel. De moleculen zullen immers optreden als één geheel.

Hetzelfde fenomeen doet zich voor in chemische klokken. Om te benadrukken hoe onverwacht dit fenomeen is, geeft Prigogine het volgende voorbeeld:

“Suppose we have two kinds of molecules, ‘red’ and ‘blue’. Because of the chaotic motion of the molecules, we would expect that at a given moment we would have more red molecules, say, in the left part of a vessel. Then a bit later more blue molecules would appear, and so on. The vessel would appear to us as “violet”, with occasional irregular flashes of red or blue. However, this is not what happens with a chemical clock; here the system is all blue, then it abruptly changes its color to red, then again to blue. Because all these changes occur at regular time intervals, we have a coherent process.” (Prigogine en Stengers, 1984, blz. 147-148)

Dit soort systemen noemt Prigogine dissipatieve structuren. Deze systemen lijken doelgericht gedrag te vertonen. Het lijkt alsof de vloeistof in haar toestand van onevenwicht een ‘uitvinding’ doet om de situatie beter het hoofd te bieden. Toch speelt hier ook het toeval een rol. Op het ogenblik van de instabiliteit treedt een bifurcatie op. Elke Bénardcel kan a priori in wijzer- of tegenwijzerzin wentelen. Geen enkele natuurwet schrijft voor welke optie moet worden gekozen. We kunnen dit voorstellen aan de hand van volgende figuur:



Bij een kritische waarde van het temperatuurverschil in de vloeistof treedt een instabiliteit op waardoor er Bénardcellen ontstaan. De mogelijkheid om te kiezen voor wijzer- of tegenwijzerzin vormen de twee takken van de curve. Geen enkele kennis van het systeem voor het bifurcatiepunt kan zekerheid geven over de keuze van het systeem tussen de twee mogelijkheden. De natuur gedraagt zich, op de drempel van de instabiliteit wezenlijk onvoorspelbaar.

Wanneer de vloeistof nog verder wordt verwarmd na het optreden van de eerste bifurcatie, zal na verloop van tijd een tweede instabiliteit optreden, waardoor de cilinders zelf beginnen te golven. Dit betekent dus ook dat er een nieuwe bifurcatie optreedt.

Orde en wanorde kunnen dus samenhangen. Systemen ver uit evenwicht creëren entropie, dus wanorde; tegelijk ontstaat een spontane ordening. Op de drempel van interne instabiliteiten, speelt het systeem met mogelijkheden en kiest voor een nieuw regime dat de bovenhand krijgt:

“Classical thermodynamics leads to the concept of “equilibrium structures” such as crystals. Bénard cells are structures too, but of a quite different nature. That is why we have introduced the notion of “dissipative structures,” to emphasize the close association, at first paradoxical, in such situations between structure and order on the one side, and dissipation or waste on the other. (...) heat transfer was considered a source of waste in classical thermodynamics. In the Bénard cell it becomes a source of order.” (Prigogine en Stengers, 1984, blz. 143)

Prigogine omschrijft twee eigenschappen van dissipatieve systemen. (Prigogine, 1986, blz. 234) De eerste is het bestaan van attractors. De tweede is de dissymmetrie ten opzichte van

tijd. Alle dissipatieve structuren hebben een voorkeur wat betreft de richting van de tijd. Zij evolueren naar hun attractor wanneer de tijd in de richting + oneindig loopt.

2.5. *Kans en noodzaak*

De instabiliteitspunten waarop dramatische en onvoorspelbare gebeurtenissen plaatsvinden, waar spontaan orde en complexiteit ontstaan, vormen wellicht wel het meest intrigerende en fascinerende aspect van de theorie van dissipatieve structuren.

Een vertakkingspunt is een stabiliteitsdrempel waar de dissipatieve structuur ofwel teloor gaat, ofwel doorbreekt naar een nieuwe toestand van orde. Wat er precies op dat kritieke punt gebeurt, hangt af van de voorgeschiedenis van het systeem. Afhankelijk van de weg waarlangs het bij dat punt kwam zal het van verschillende wegen na de vertakking één bepaalde inslaan. Op een vertakkingspunt is een dissipatieve structuur ook buitengewoon gevoelig voor kleine veranderingen in zijn omgeving. Een kleine willekeurige verandering, vaak 'ruis' genoemd, kan de keuze van een route bepalen. Omdat alle levende systemen bestaan in voortdurend wisselende omgevingen en omdat we nooit kunnen weten welke fluctuatie op het vertakkingspunt juist op het 'goede' moment zal optreden, kunnen we de toekomstige gang van het systeem nooit voorspellen.

Dus als een dissipatieve structuur een vertakkingspunt kruist, gaan alle deterministische beschrijvingen in rook op. Minieme fluctuaties in de omgeving bepalen waar het heen gaat. En omdat het in zekere zin juist die fluctuaties zijn die tot het ontstaan van een nieuwe vorm van orde leiden, beschreef Prigogine de situatie als 'orde uit de chaos'. In Prigogines woorden:

“Self-organization processes in far-from-equilibrium conditions correspond to a delicate interplay between chance and necessity, between fluctuations and deterministic laws. We expect that near a bifurcation, fluctuations or random elements would play an important role, while between bifurcations the deterministic aspects would become dominant.” (Prigogine en Stengers, 1984, blz. 176)

2.6. *Interne en externe beschrijvingen*

2.6.1. *Paden en ensembles*

Prigogine stelt dat er een fundamenteel verschil moet bestaan tussen de beschrijving in termen van paden enerzijds en de beschrijving in termen van ensembles anderzijds. De instabiliteit op

het niveau van het afzonderlijke pad leidt tot een stabiel gedrag op het niveau van de statistische beschrijving. (Prigogine, 1996, blz 78) De eerste beschrijving is een voorbeeld van een externe beschrijving terwijl de tweede een voorbeeld is van een interne beschrijving. De complementariteit van beide beschrijving blijkt vooral uit het probleem van de tijd. Terwijl een beschrijving in termen van paden gekenmerkt worden door irreversibele wetten, vinden we bij een beschrijving in termen van ensembles wél evolutie. De vraag is hoe deze pijl van de tijd verklaard kan worden vanuit de reversibele wetten van de dynamica.

“Maar om het even in welke situatie, er bestaat altijd tegelijk een individuele beschrijving (in termen van deeltjespaden, golf functies of velden) en een statistische beschrijving. En op alle niveaus verbreken instabiliteit en niet-integreerbaarheid de gelijkwaardigheid van die twee beschrijvingen”. (Prigogine, 1996, blz. 97)

Ook hier zien we dat de interne beschrijving niet kan worden herleid tot de externe. De interne beschrijving bevat bijkomende informatie, die verloren gaat wanneer we overgaan naar de externe beschrijving:

“de probabilistische beschrijving is rijker dan de individuele, al is die laatste altijd als de fundamentele beschouwd. (...) Er blijft niets over van de gelijkwaardigheid van het individuele en het statistische niveau. We komen, voor de waarschijnlijkheidsverdelingen, bij *niet te herleiden* nieuwe oplossingen, in de zin dat ze niet van toepassing zijn op individuele banen. De ‘wetten van de chaos’, waarmee een chaotisch systeem beschreven kan worden, situeren zich op het statistische niveau.” (Prigogine, 1996, blz. 33)

2.6.2. Bifurcaties

Prigogine richt zich in zijn studie vooral op open systemen, die onder invloed van de omgeving permanent uit evenwicht worden gehouden. In tegenstelling tot gesloten systemen, waar de reversibele wetten van de dynamica gelden, merken we hier dat systemen ver uit evenwicht doelgericht gedrag gaan vertonen. Vanuit de complementariteit tussen interne en externe relaties kunnen we dit verklaren. De omgeving (het ver uit evenwicht houden) fungeert dan als een verandering 2., waardoor het systeem als geheel bijkomende informatie krijgt. We hebben gezien dat een verandering ‘binnen een systeem’ enkel kan gebeuren als er een verandering optreedt ten opzichte van het systeem als geheel, waardoor de basisassumpties die het systeem reguleren worden in vraag gesteld. Dit heeft als gevolg dat de basisassumpties van de interne relatie niet meer gelden, zodat het systeem naar een nieuwe

interne relatie moet zoeken en bijgevolg een nieuw evenwicht zal krijgen. De instabiliteitspunten vertegenwoordigen dan deze overgang van het ene evenwicht naar een ander.

2.6.3. Complementariteit

De klassieke omkeerbare wetten van de dynamica gelden perfect voor gesloten systemen. In werkelijkheid zijn zo'n gesloten systemen echter idealisaties. In de realiteit zijn er alleen open systemen. Wanneer een systeem in evenwicht is, zal er echter 'binnen' het systeem een stabiele interne relatie gelden, vergelijkbaar met deze in gesloten systemen. Het is ook precies die stabiele interne relatie die ons toelaat om een systeem als zodanig, als een 'iets' te beschouwen. Wanneer de wisselwerking met de omgeving echter een effect is dat zijn invloed heeft op het systeem als geheel, dan zal de toestand van het systeem als 'externe entiteit' wijzigen. Dit is een verandering op niveau 2, die ertoe leidt dat het systeem een nieuw evenwicht moet zoeken. De interne relatie wijzigt dan. Het is juist deze voortdurende wisselwerking tussen intern en extern die de oorzaak is van chaos én orde. Op het keerpunt is het systeem in een paradoxale situatie en moet als het ware een keuze maken. De complementariteit tussen de interne en de externe relatie is dus de kern van creativiteit, van orde én chaos.

Today physics has discovered the need to assert both the distinction and interdependence between units and relations. It now recognizes that, for an interaction to be real, the "nature" of the related things must derive from these relations, while at the same time the relations must derive from the "nature" of the things. (Prigogine en Stengers, 1984, blz. 95)

3. Bohrs complementariteit

3.1. Inleiding

Hoewel het begrip complementariteit al door Bergson werd gehanteerd in 1907 om op een metafysische manier aan te duiden dat een geheel tegelijk bestaat en niet bestaat uit delen, (Löfgren, 1992 blz 116) is de naam die tegenwoordig met het begrip complementariteit wordt verbonden, die van Bohr. Bohr ontwikkelde het concept complementariteit om de golf-deeltjes-dualiteit van licht te verklaren. Maar Bohr zag complementariteit ook als een meer algemene benadering om de natuur te beschrijven. In dit hoofdstuk zal ik zeer kort¹⁶ schetsen hoe de quantummechanica ontstond en hoe hierin het begrip complementariteit zijn intrede deed. Daarna zal ik bekijken welke implicaties en interpretaties dit concept kunnen hebben en tot slot zal ik onderzoeken hoe complementariteit uit de quantumfysica kan worden gezien in termen van interne en externe beschrijvingen.

3.2. Quantumfysica

3.2.1. Ontstaan van de quantumfysica

3.2.1.1. Het quantum van Planck

De wortels van het quantumbegrip liggen in het probleem van de zogenaamde ‘zwartlichaamstraling’. Dat is een hol lichaam dat alle elektromagnetische straling absorbeert die erop valt. Binnen de ruimte kan de straling nergens heen en wordt voortdurend geabsorbeerd en weer uitgestraald door de wanden ervan. Door een kleine opening kan de straling naar buiten komen. Deze straling wordt niet gereflecteerd maar uitgestraald.¹⁷ De straling is niet in alle frequenties even intens, en bovendien is de intensiteitsverdeling over de frequenties bij elke temperatuur weer anders. De Duitse geleerde Max Planck stelde zich tot doel een juiste formule op theoretische gronden af te leiden. Hij vond een formule, die volledig

¹⁶ Binnen het bestek van dit werk zal een geschiedkundig overzicht noodzakelijk kort en per definitie onvolledig zijn.

¹⁷ Bij reflectie wordt straling teruggekaatst van een oppervlak zonder enige verandering te ondergaan. Een absorberend oppervlak zendt echter ook straling uit, maar de straling die het uitzendt, is heel verschillend van de straling die het absorbeert.

in overeenstemming was met de waarneming maar stelde echter vast dat deze formule haar geldigheid verloor als hij de energie tot nul liet afnemen. Daarom stelde hij in 1900 voor dat licht, röntgenstralen en andere golven niet willekeurig worden uitgezonden, maar uitsluitend in pakketjes van bepaalde grootte die hij ‘quanta’ noemde.(Hawking, 1988, blz. 74) Bovendien was er een verband tussen de energie van zo’n quantum en de frequentie van het daarbij behorende uitgezonden of geabsorbeerde licht:

$$E = hf \quad (1)$$

De door hem ingevoerde evenredigheidsconstante h staat nu algemeen bekend als de constante van Planck.

3.2.1.2. De lichtdeeltjes van Einstein

Plancks hypothese werd echter niet meteen aanvaard. Einstein was één van de weinigen die ze serieus nam. Einstein verklaarde het foto-elektrische effect aan de hand van de lichtquantumhypothese. Het foto-elektrisch effect houdt in dat uit metaal elektronen vrijkomen zodra er licht op valt. Raadselachtig was het feit dat de hoeveelheid vrijkomende elektronen wel evenredig was met de intensiteit van het licht, maar de energie van elk elektron niet. Die bleek toe te noemen wanneer licht met een hogere frequentie werd gebruikt, terwijl licht met een frequentie onder een zekere grenswaarde (afhankelijk van de soort metaal) in het geheel geen effect veroorzaakt. De veronderstelling dat het licht uit een stroom ‘quanta’ bestaat, pakketjes die elk een energie hebben die evenredig is met de frequentie van het licht – bleek precies deze raadselachtige aspecten van het foto-elektrisch licht te kunnen verklaren. Zo is er een zekere energie nodig om de elektronen los te maken uit het atoomrooster. Is er meer energie beschikbaar, dan krijgt het losgemaakte elektron het restant mee in de vorm van snelheid. De grenswaarde, waaronder het foto-elektrisch effect niet optreedt, is precies die frequentie waarbij de energie van een lichtpakketje gelijk is aan de bindingsenergie van het elektron in het atoomrooster. Einstein stelde dus dat energie zelf gekwantificeerd is. Hier werd voor het eerst het begrip ‘foton’ geïntroduceerd, alhoewel deze naam pas in 1926 door G.N. Lewis werd bedacht. (Lijnse, 1981, blz. 22) Het onomstotelijk proefondervindelijke bewijs voor het bestaan van fotonen werd in 1923 door de Amerikaanse natuurkundige Compton geleverd.(Gribbin, 1985, blz. 85)

3.2.1.3. Het atoommodel van Bohr

Naast de straling van zwarte lichamen en het foto-elektrisch effect stelde zich nog het probleem van de stralingsspectrum. In de loop van de negentiende eeuw was duidelijk

geworden dat elk element, wanneer het aan het gloeien wordt gebracht, licht uitzendt met slechts een beperkt aantal frequenties. Elk element bleek een eigen patroon van frequenties en bijbehorende intensiteiten te hebben dat kenmerkend is voor dat element, het zogenaamde stralingsspectrum van het element. Men bestudeerde zo'n stralenspectrum door het uitgezonden licht via een dunne spleet in een scherm op een prisma te laten vallen. Het resultaat is een projectie van spectraallijnen. Van nagenoeg alle elementen was het stralingsspectrum bekend en op een of andere manier moest dit iets te maken hebben met de inwendige structuur van het atoom.

In 1885 stelde de Zwitserse wiskundeleraar Balmer een vergelijking op die voor waterstof de golflengten geeft van een serie lijnen in het spectrum. ('t Hooft, 1989, blz. 80)

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (2)$$

Hierin is λ de golflengte van een der lijnen van de reeks, uitgedrukt in cm, n is een geheel getal, groter dan 2 (voor waarden lager dan 2 wordt λ negatief of nul), dat voor elke term van de reeks een bepaalde waarde heeft: zo geven de waarden $n = 3, 4, 5$, enz. respectievelijk de 1^e, 2^e, 3^e, enz. term van de reeks aan. De constante R , de zgn. Rydbergconstante, werd empirisch vastgesteld op de waarde 109677.7 cm^{-1} .

Deze opmerkelijke, maar mysterieuze formule was onverklaarbaar, tot Bohr de formule afleidde uit zijn quantummodel van het atoom. Bohr ging er namelijk vanuit dat de elektronen in een atoom niet een willekeurige energiewaarde kunnen hebben. Alleen toestanden met bepaalde energiewaarden zijn mogelijk. De overgangen tussen deze niveaus worden wel quantumsprongen genoemd. Het vreemde is dat een atoom bij zo'n overgang van het ene niveau naar het andere geen continue weg van energiewaarden aflegt, maar als het ware in het ene niveau verdwijnt en in het andere niveau weer opduikt. Als we bedenken dat $1/\lambda$ gelijk is aan de verhouding f/c tussen frequentie en lichtsnelheid, dan zien we dat volgende de formule van Balmer de frequenties van spectraallijnen van waterstof kunnen geschreven worden als een verschil van twee termen. Dit is precies in overeenstemming met Bohrs veronderstelling.

Wanneer we immers de formule van Balmer vermenigvuldigen met h overeenkomstig (1) om de energie van het lichtquantum aan de linkerkant te bekomen, dan krijgen we volgende vergelijking:

$$h \frac{f}{c} = hR \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Dit kunnen we herschrijven als:

$$hf = Rhc \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (3)$$

Bohr gaat ervan uit dat een atoom een overgang maakt van een toestand met energie E_i naar een toestand met een lagere energie E_j onder uitzending van een foton met energie $E_i - E_j$, ofwel met een frequentie:

$$f = \frac{E_i - E_j}{h} \quad (4)$$

We zien nu dat deze veronderstelling precies overeenkomt met de formule (2) van Balmer als we aannemen dat de negatieve energieniveaus van het waterstofatoom de waarden

$$E_n = - \frac{hcR}{n^2}$$

hebben. Dat levert precies de waarden voor de golflengte op die met de Balmer-formule overeenkomen, althans als het onderste niveau E_2 is. Behalve het patroon van lijnenspectra van waterstof kon Bohr ook de waarde van de evenredigheidsconstante R correct voorspellen, doordat hij aannam dat bij hoge banen, overeenkomend met hoge waarden van n , de omloofrequentie van het elektron gelijk is aan de frequentie van de straling die wordt uitgezonden bij een quantumsprong van E_n naar E_{n-1} . De berekende waarde kwam precies overeen met de al lang bekende empirische waarde. ('t Hooft, 1989, blz 80, 82)

Hoe dragen deze denkbeelden nu bij tot een beter inzicht in de structuur van het atoom?

Bohr ging ervan uit dat de elektronen in het atoom zich bewegen in bepaalde banen (schillen) zonder uitzending van stralingsenergie.

Als het elektron zich in de schil met minimale energie bevindt, zegt men dat het atoom zich in de grondtoestand bevindt; heeft het elektron een hoger niveau, dan noemt men het atoom aangeslagen. De aangeslagen atomen kunnen niet in deze toestand blijven: ze gaan aanstonds over in een toestand van kleinere energie, om ten slotte de grondtoestand te bereiken. Als een elektron overgaat van een schil met hogere energie naar een met lagere, zendt het elektron het

energieverschil uit in de vorm van straling. De terugval van de 3^{de} of 4^{de} schil naar de 2^{de} veroorzaakt de zichtbare straling die we al kennen als de straling van de Balmerreeks. De sprongen naar het eerste niveau (de grondtoestand) komen overeen met stralingen waarvan de golflengte te klein is om door het menselijk oog te worden waargenomen (ultraviolette straling). De sprongen naar de 3^{de}, 4^{de} en 5^{de} schil van elektronen uit verder weg gelegen niveaus geven stralingen met golflengten die te groot zijn om door het oog te kunnen worden waargenomen (infrarode straling).

Een belangrijke eigenschap van de door Bohr gevonden banen van het elektron in het waterstofatoom is nog dat de omtrek van de n-de baan precies n maal de golflengte van het elektron is, volgens de formule van Louis De Broglie. Deze Fransman had in 1924 gesteld dat elektronen zich, net zoals fotonen, als golven en als deeltjes moeten gedragen. Als elektronen zich als golven gedragen, moeten ze voldoen aan de wetten die voor golven gelden. De Broglie-golflengte van een elektron bedraagt (zie ook 3.2.2.2):

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad (5)$$

De eigenschap die Bohr omschrijft is dan:

$$2\pi r = n\lambda = n \frac{h}{mv}$$

Dit kan ook nog geschreven worden als:

$$mvr = n \frac{h}{2\pi}$$

De uitdrukking mvr is ook bekend als het impulsmoment.¹⁸ Aangezien n een geheel getal is, betekent dit dus dat het impulsmoment in een stationaire toestand een geheel aantal malen $h/2\pi$ bedraagt. Of met andere woorden, in Bohrs model kan een elektron wanneer het wordt aangeslagen, alleen in een andere baan ‘springen’ als zijn impulsmoment toe- of afneemt met een geheel getal maal $h/2\pi$. Het getal n noemt men het hoofdquantumgetal.

¹⁸ De betekenis ervan is dat als een voorwerp in een cirkelvormige baan zonder frictie beweegt, het zal blijven doorgaan met een constant impulsmoment totdat er een kracht van buiten op inwerkt. De grootte van impulsmoment wordt dus gegeven door het product van de massa van het voorwerp, de snelheid en de straal van de cirkel. Het impulsmoment is dus eigenlijk de hoeveelheid van beweging bij een rotatiebeweging.

Het werd echter al spoedig duidelijk dat het model van Bohr fundamenteel juist was, maar toen men het atoommodel ook ging toepassen op meer complexe atomen bleek dat het toch tal van kleine gebreken vertoonde. Een aantal verbeteringen dienden zich aan. Zo werden ook niet cirkelvormige banen voor elektronen geïntroduceerd. Verder bleek dat er meer toestanden van het elektron mogelijk waren dan de banen van Bohr – met slechts één quantumgetal – toelieten. Naast het hoofdquantumgetal werden nog een viertal andere quantumgetallen geïntroduceerd. In het totaal wordt de quantumtoestand van een elektron dus gekarakteriseerd met de volgende vijf quantumgetallen: ('t Hooft, 1989, blz. 169)

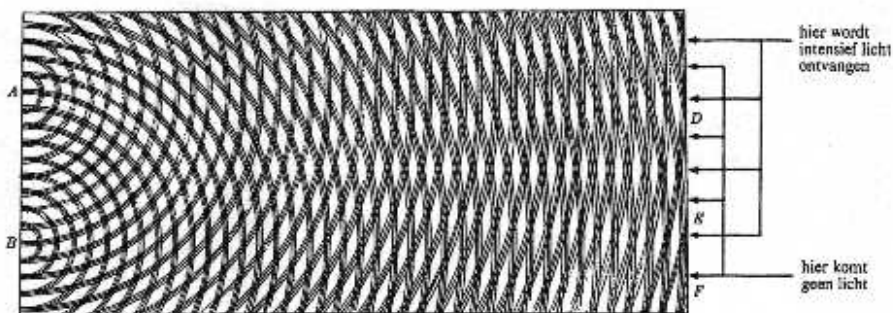
1. Het 'hoofdquantumgetal n ': correspondeert met de energie van een elektron, waarbij de toestand met $n = 1$ de laagste energie heeft en dus het meest stabiel is.
2. Het 'nevenquantumgetal l ' correspondeert met het impulsmoment (de hoeveelheid draaibeweging) van het elektron. Dit is een geheel getal met maximale waarde $n-1$ ($= 0, \dots, n-1$). Hierdoor wordt elk hoofdniveau gesplitst in n subniveaus, m.a.w. het impulsmoment van het elektron op energieniveau E_n kan n verschillende groottes hebben.
3. Het magnetisch quantumgetal m_l werd ingevoerd om een verklaring te geven voor het gedrag van het atoom in een elektrisch veld. De richting van de draaiingsas van het atoom ten opzichte van het magnetisch veld is beperkt tot een discreet aantal. Het magnetisch quantumgetal geeft dus de projectie aan van l op een willekeurige richting in de ruimte, de z -as. Het is een geheel getal tussen $-l$ en $+l$.
4. Het quantumgetal 'spin s ' heeft te maken met de draaibeweging van het elektron om zijn eigen as (de spin) en heeft voor elk elektron de waarde $s = \frac{1}{2}$
5. Het quantumgetal m_s verwijst naar de richting die de as van de spin kan hebben in het magnetisch veld: dezelfde richting als het magnetisch veld of tegengesteld daaraan, $m_s = +\frac{1}{2}$ of $m_s = -\frac{1}{2}$.

De grote bijdrage van Pauli aan het atoommodel van Bohr is zijn beroemde uitsluitingsprincipe, dat stelt dat elektronen in een atoom zich op zo'n wijze (in verschillende banen) moeten rangschikken, dat twee elektronen nooit dezelfde combinatie van quantumgetallen kunnen hebben. Dit eenvoudig principe verklaart de indeling van het periodiek systeem van de elementen.

3.2.2. De golf-deeltjes dualiteit

3.2.2.1. Licht

Voor de oorsprong van de golf/deeltjes-controverse moeten we teruggaan naar de tijd waarin Isaac Newton en de Nederlandse natuurkundige, Christiaan Huygens debatteerden over de aard van het licht. Newton ging ervan uit dat licht te verklaren is in termen van deeltjes, terwijl Huygens stelde dat licht de gedaante heeft van een golfbeweging. Driehonderd jaar geleden viel de bewijslast duidelijk in het voordeel van de deeltjestheorie en de golftheorie werd aan de kant geschoven, maar niet helemaal vergeten. In het begin van de negentiende eeuw werden door de Engelsman Thomas Young nieuwe en doorslaggevende proefnemingen uitgevoerd. Young liet licht schijnen tegen een lichtdicht scherm waarin zich twee nauwe spleten bevonden. Voorbij deze hindernis verspreidden de lichtgolven zich vanuit beide spleten en ontstond er interferentie. Een interferentiepatroon zou moeten resulteren in afwisselend lichte en donkere gebieden, veroorzaakt door constructieve en destructieve interferentie tussen lichtgolven uit verschillende bronnen. Dit was ook precies wat Young aantrof. (Gribbin, 1985, blz. 29-30) Onderstaande tekening van Young (overgenomen uit 't Hooft, 1989, blz. 42) laat zien hoe golven van de spleten A en B elkaar overlappen. Als we vanaf de linkerkant rakelings over de tekening kijken, zien we duidelijk het interferentiepatroon. Op het scherm aan de rechterkant zien we punten waar uitdoving respectievelijk versterking optreedt.



Naast de interferentieverschijnselen werd nog ander bewijs geleverd voor het golfkarakter van licht door de elektromagnetische golftheorie van 1865. De 19^{de} eeuwse fysici waren nu overtuigd. Licht bestond uit golven.

Anderzijds had Einstein het idee van fotonen ingevoerd om het foto-elektrisch effect te verklaren. De bevestiging van Einsteins deeltjeshypothese kwam in 1923, toen de Amerikaanse

fysicus Arthur Compton hoe een lichtgolf zelf gewijzigd werd door haar wisselwerking met een elektron. Hij kon zijn meetresultaten alleen verklaren als hij aan de gebruikte röntgenstralen (licht met een zeer kleine golflengte) behalve energie ook een impuls toekende. ('t Hooft, 1989, blz. 57) Als een röntgenfoton een elektron raakt, ontvangt het elektron energie en impuls en schiet het in een bepaalde richting weg. Het foton verliest energie en impuls en vliegt een andere richting uit, die kan worden berekend met behulp van de wetten van de deeltjesfysica. De conclusies uit Comptons experiment zijn: (Alonso en Finn, 1994, blz. 27)

1. De verstrooiing van elektromagnetische straling door een vrij elektron kan worden beschouwd als een botsing tussen het elektron en een deeltje met rustmassa nul.
2. Elektromagnetische straling speelt de rol van het deeltje met rustmassa nul dat we kortweg een foton noemen.
3. De energie en de impuls van het foton hangen samen met de frequentie en de golflengte van de elektromagnetische straling volgens:

$$E = hf \text{ en}$$

$$p = E/c \text{ (vgl. van Maxwell)} = hf/c = h/\lambda$$

waarbij p staat voor de impuls van het foton.

Ook het deeltjeskarakter van het licht kon nu niet meer ontkend worden.

3.2.2.2. *Materie*

In 1924 stelde de Fransman Louis de Broglie een veelomvattende symmetrie voor: net zoals fotonen zich als golven en als deeltjes gedragen, zouden elektronen zich ook als golven en als deeltjes moeten gedragen. De hypothese van De Broglie stelt dat met elk deeltje dat een snelheid v bezit en een massa m , een golf geassocieerd is en dat het verband tussen impuls en golflengte, resp. energie en frequentie (golflengte) hetzelfde is als voor elektromagnetische golven. Dat betekent dus: $p = h/\lambda$ en $E = h.c/\lambda$.

De Broglies theorie over het golfkarakter van elektronen werd aangetoond door G.P. Thomson (Mc. Evoy en Zarate, 1997, blz. 117)

We kunnen nu verklaren waarom Bohrs impulsmoment gequantiseerd is in eenheden van $h/2\pi$. Als het elektron rond een kern beweegt, is zijn golfbeweging stationair, dat wil zeggen dat het een staand golfpatroon vertoont zoals de trilling van een vioolsnaar die aan beide

einden vastzit. Dat betekent ook dat slechts bepaalde frequenties kunnen worden voortgebracht. De staande golven van het elektron hebben dus enkel de golflengten die passen rond een cirkel of:

$$n\lambda = 2\pi r.$$

Als we de Broglies vergelijking invullen voor λ krijgen we:

$$n(h/mv) = 2\pi r$$

of met andere woorden

$$n(h/2\pi) = mvr$$

wat precies overeenkomt met Bohrs veronderstelling over het impulsmoment.

De Broglie dacht dat hiermee een verklaring was gevonden voor het feit dat er in een atoom slechts bepaalde toestanden stationair konden zijn (met name enkel als de baanomtrek juist een geheel aantal malen de elektrongolflengte bedraagt). Hoewel dit beeld achteraf niet juist is gebleken, was het wel een stap in de goede richting. (Lijnse, 1981, blz. 39)

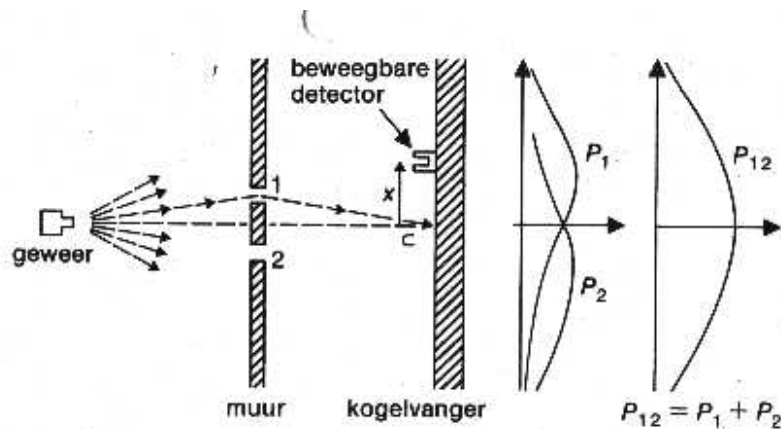
Verder leidde hij af dat de groepssnelheid van het materieveld (dit is de snelheid van het golfpakketje) gelijk is aan de snelheid van het deeltje. Als dus een deeltje in een bepaald gebied van de ruimte gelocaliseerd is, is het verbonden met een veld of golfpakketje dat alleen in dat gebied een merkbare amplitude heeft. De snelheid van het deeltje is de groepssnelheid van het veld of golfpakketje. (Alonso en Finn, 1994, blz. 54)

3.2.2.3. Dualiteit : het twee-gatenexperiment

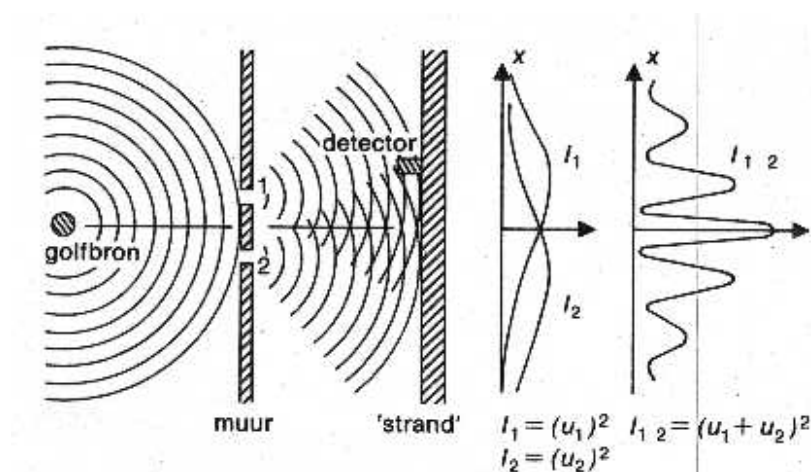
De eigenaardige dualiteit van licht blijkt het duidelijkst uit het twee-gatenexperiment. (Feynman, 1966, III-1-1 tot III-1-9) Het experiment gaat als volgt. Stellen we een scherm voor met daarin twee kleine gaatjes. Aan één kant van het scherm bevindt zich nog een scherm, waarin een detector is opgenomen. Aan de andere kant van het scherm bevindt zich een bron van fotonen of elektronen. De vraag is nu welk patroon er ontstaat op de detector.

Veronderstellen we even dat we in plaats van elektronen of fotonen kogels afvuren. Vermits we niet van tevoren weten waar de kogel zal terecht komen, meten we gedurende een bepaalde tijd waar de kogeltjes terechtkomen en delen dat door het totaal aantal afgeschoten kogeltjes. We krijgen dan de kans dat een kogeltjes op plaats x gedetecteerd wordt. We merken nog even op dat de detector altijd een *heel* kogeltje detecteert. De kansverdeling $P(x)$ is dan de verdeling van kansen als functie van de plaats. Beschouwen we nu 3 situaties:

gaatje 1 open en gaatje 2 dicht; gaatje 1 dicht en gaatje 2 open en beide gaatjes open. De kansverdeling P_{12} (beide gaatjes open) is de som van de kansverdeling P_1 (gaatje 1 open) en de kansverdeling P_2 (gaatje 2 open).

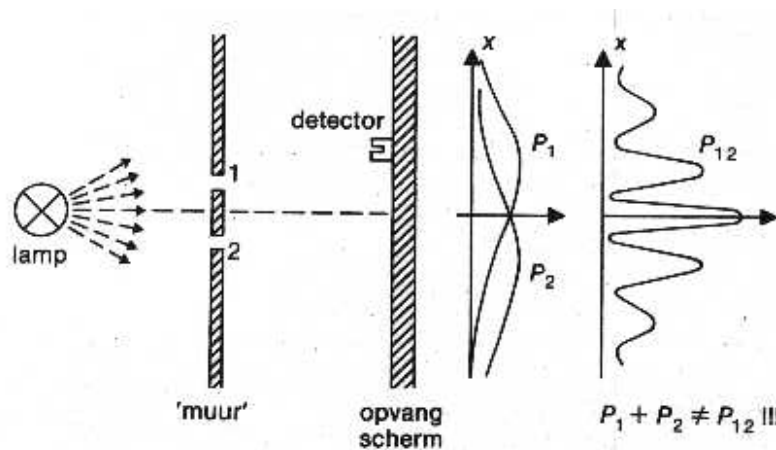


Veronderstellen we nu hetzelfde experiment met watergolven. De detector meet nu de intensiteit van de golfbeweging. Deze kan gelijk welke waarde hebben. (in tegenstelling tot het vorige experiment waar altijd hele kogeltjes werden gemeten). We merken hier echter dat de intensiteitsverdeling I_{12} (2 gaatjes open) niet de som is van I_1 (gaatje 1 open) en I_2 (gaatje 2 open). Er is immers interferentie opgetreden, zodat de totale intensiteitsverdeling gegeven wordt door de som van de 'afzonderlijke' intensiteiten en nog een derde term, de interferentieterm.

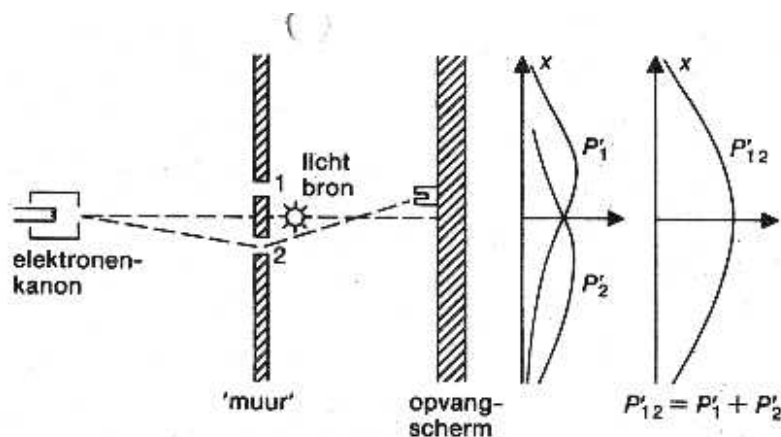


Beschouwen we nu hetzelfde experiment met fotonen of elektronen. Vergelijkbaar met het kogelexperiment gebruiken we nu een elektronenpistool en schieten elektronen op. De

detector registreert de aankomst van elk elektron met een klik. Net zoals in het experiment met de kogels, meten we weer waarschijnlijkheden. Meten we nu echter de kansverdelingen voor de drie situaties, dan constateren we dat de kansverdeling als beide spleten open zijn niet gelijk is aan de som van de kansverdeling met alleen spleet 1 open en die met alleen spleet 2 open. Er is dus interferentie.



Om te weten te komen door welke spleet het elektron gaat, proberen we het volgende experiment. Achter het scherm met de twee spleten plaatsen we een sterke lichtbron. We weten dat licht verstrooid wordt door elektronen. Als er dan een elektron door een van de spleten passeert, zien we tegelijk een lichtflits bij die spleet. Moest het elektron door beide spleten gaan, dan merken we tegelijk twee lichtflitsen. Meten we nu weer de waarschijnlijkheidsverdelingen P'_1 , P'_2 en P'_{12} . We constateren nu echter dat P'_{12} gelijk is aan de som van P'_1 en P'_2 of met andere woorden, het interferentiepatroon is verdwenen. We moeten dus concluderen dat de verdeling van elektronen op het scherm anders is als we ernaar kijken, dan als we er niet naar kijken. Als we naar elektronen kijken, weten we door welke spleet ze zijn gegaan, maar daardoor is het interferentiepatroon verdwenen.



3.2.3. De onzekerheidsrelatie

In 1926 formuleerde Heisenberg zijn beroemde onzekerheidsprincipe. Het uitgangspunt hierbij is dat metingen in de atomaire wereld altijd resulteren in substantiële verstoringen van de gemeten fenomenen. De meetinstrumenten worden een integraal deel van het onderzochte fenomeen. Dit is echter geen praktische hindernis, die te wijten zou zijn aan de instrumenten, maar een principiële hindernis. Heisenberg illustreert dit met een gedachtenexperiment. (Gamow, 1988, blz. 254-258)¹⁹. Hij probeert de beweging van een partikel materie na te gaan. In de macrowereld zal het licht op een pingpongbal een druk uitoefenen. Deze druk is echter veel te klein om iets te wijzigen aan de beweging van de bal, zodat we deze kunnen verwaarlozen. Maar als we de bal vervangen door een elektron, dan wordt de situatie anders. Heisenberg stelde zich een elektronengeweer voor dat een enkel elektron horizontaal kon afvuren in een totaal lege kamer (zonder één enkele lucht molecule). Hij stelde zich een ideale lichtbron voor die fotonen van elke gewenste golflengte kon uitzenden en met elk gewenst aantal. Verder beschikte hij over een ideale microscoop, die afgesteld kon worden op het hele spectrum van de langste radiogolf tot de kortste gammastraal. Wat zou er nu gebeuren? Het partikel wordt afgeschoten in de lege kamer en volgens de klassieke wetten van de mechanica, zal het partikel een paraboolbaan volgen. Maar op het moment dat het foton het elektron raakt, zal dit laatste wegspringen en zijn snelheid wijzigen. Vermits we hier met een ideale setting te maken hebben, kunnen we nu proberen dit effect te verminderen, door de energie van het foton te verlagen of met andere woorden door licht van een lagere frequentie te gebruiken. Door naar de limiet van een oneindig kleine frequentie te gaan, kunnen we de

¹⁹ Gamow geeft hierin een samenvatting van Heisenbergs artikel "The Uncertainty Principle, in Scientific American van januari 1958.

verstoring zo klein maken als we willen. Maar hier duikt een nieuwe moeilijkheid op. Bij een lagere frequentie, wordt de golflengte langer en hoe langer de golflengte, hoe moeilijker het wordt om het object te definiëren omwille van het effect van diffractie.²⁰ Als het licht immers helemaal niet wordt afgebogen, zien we niets. We kunnen dan de exacte positie van het elektron niet vinden op een bepaald moment in het traject. Om de positie te meten, moeten we gebruik maken van een korte golflengte maar dan wordt de snelheid weer verstoord en onzeker. Heisenberg toonde aan dat het product van de onzekerheid in positie en snelheid nooit kleiner kan zijn dan de constante van Planck gedeeld door de massa van het partikel:

$$\Delta v \Delta x \geq h/m$$

Hoe nauwkeuriger we dus de positie proberen te meten, des te onnauwkeuriger we zijn snelheid kunnen meten en omgekeerd. Deze onzekerheden zijn niet terug te voeren op tekortkomingen van de meetopstellingen (immers, Heisenberg ging uit van ideale instrumenten), ze kunnen gewoonweg niet vermeden worden. Heisenbergs onzekerheidsprincipe is daarom een fundamentele eigenschap van de wereld, waaraan niets zich kan onttrekken.

Zo is uiteraard ook de bepaling van plaats en de bepaling van impuls omgekeerd evenredig. Immers, de plaats kan slechts met een nauwkeurigheid van λ bepaald worden wegens de diffractie, die nodig is om het deeltje waar te nemen.

$$\Delta x \geq \lambda$$

Anderzijds stelt de Broglie-vergelijking dat

$$\Delta p \geq h/\lambda$$

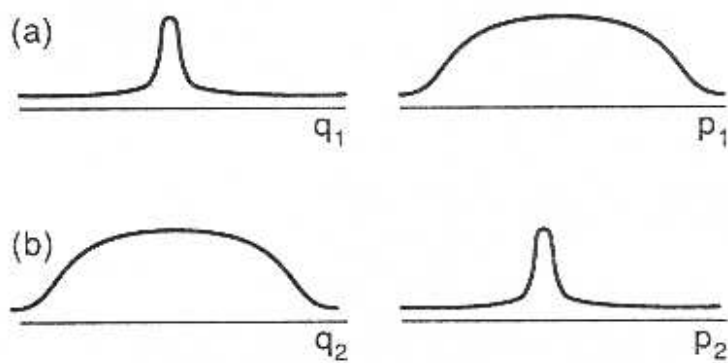
Door deze twee onzekerheden met elkaar te vermenigvuldigen, kon Heisenberg aantonen dat het product $\Delta x \Delta p$ altijd groter is of gelijk aan een zekere waarde:

$$\Delta x \Delta p \geq h$$

De onzekerheden waarmee we de plaats en de impuls van het elektron kennen zijn dus omgekeerd evenredig, zodat hun product constant is.

²⁰ Diffractie is afbuiging van een golf. Dit doet zich bijvoorbeeld voor wanneer een golfstraal door een nauwe opening gaat. De voortplanting geschiedt dan niet alleen in de richting van de golfstraal, die door de opening gaat, maar er ontstaan nieuwe golfstralen vanaf de opening die in alle richtingen lopen.

We kunnen de onzekerheidsrelatie met volgende grafieken (Sklar, 1992, blz. 176) voorstellen. In toestand (a) is de waarschijnlijkheidsverdeling van de positie nauwkeurig bepaald, maar de verdeling voor momentum is verspreid. In toestand (b) is de waarschijnlijkheidsverdeling voor momentum nauwkeurig, maar deze van de positie is breed uitgespreid.



3.2.4. Quantumtheorieën

Een quantumtheorie is een methode om de quantummaterie wiskundig voor te stellen. De belangrijkste theorieën zijn Heisenbergs matrixmechanica, Schrödingers golfvergelijking en Diracs transformatietheorie.

3.2.4.1. Heisenbergs matrixmechanica

Werner Heisenberg ontwikkelde, ondersteund door Born en Jordan de matrixmechanica. De deeltjes worden hierin niet langer beschreven als een punt in de ruimte maar als eigenschappen, weergegeven in kolommen en rijen getallen. Heisenbergs tabellen bestonden uit tweedimensionale reeksen getallen, omdat zijn berekeningen altijd betrekking hadden op twee toestanden en op de interactie tussen die twee. De berekeningen bestonden onder meer uit het elkaar vermenigvuldigen van twee van deze stellen of reeksen getallen en Heisenberg had de daarvoor benodigde wiskundige trucs nauwkeurig uitgewerkt. Hij ontdekte echter dat het antwoord van de vermenigvuldiging afhing van de volgorde. $A \times B$ is dus niet hetzelfde als $B \times A$. Born legde de link met matrices, waarbij het antwoord van de vermenigvuldiging van twee matrices ook afhankelijk is van de volgorde. In 1925 zou de samenwerking tussen Heisenberg, Born en Jordan leiden tot een gezamenlijk artikel over matrixmechanica. Hierin werd gesteld dat de noncommutativiteit van quantumvariabelen een fundamenteel quantummechanisch verband is:

$$pq - qp = \hbar/i$$

Waarbij p en q matrices zijn die quantumvariabelen weergeven, de equivalenten voor impuls en positie en i staat voor $\sqrt{-1}$.

3.2.4.2. *Schrödingers golfmechanica*

Schrödinger beschrijft de quantumwereld in termen van golffuncties. Hij vertrekt van de kennis van staande golven (golven die tot een bepaald gebied beperkt zijn, zoals een trillende snaar met vaste eindpunten). Bij staande golven van gegeven intensiteit is de amplitude (maximale uitwijking) van de golf in ieder punt van de ruimte bepaald en in punten waar de amplitude groter is, is de golf intenser. Een soortgelijke situatie doet zich voor in het geval van atomaire deeltjes. Een elektron in een atoom beweegt bijvoorbeeld nooit te ver van de kern af en is dus in wezen beperkt tot een klein deel van de ruimte. Het toegevoegde materieveld kan dus worden opgevat als een staande golf, gelokaliseerd in deze ruimte, waarbij de amplitude van punt tot punt binnen het gebied verschilt en buiten dit gebied praktisch nul is. We geven de amplitude van het materieveld aan door $\psi(x)$, die om historische reden de golffunctie wordt genoemd. (Alonso en Finn, 1994, blz. 68)

Erwin Schrödinger formuleerde in 1926 de zogenaamde Schrödingervergelijking. Deze vergelijking is voor eendimensionele problemen (x beweegt maar in één richting) zonder de tijd:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + V(x)\psi = E\psi$$

Hierin is $\psi(x)$ de golffunctie van het deeltje, m de massa van het deeltje, E de totale energie (som van kinetische en potentiële energie) en $V(x)$ de potentiële energie. De keuze van de coëfficiënt wordt gerechtvaardigd wanneer we bedenken de golffunctie afhangt van de dynamische toestand van deeltje en deze wordt bepaald door de krachten die op het deeltje werken en de totale energie. Als de krachten echter conservatief zijn, wordt de beweging bepaald door de potentiële energie $V(x)$ van het deeltje. We mogen dus verwachten dat de golffunctie op één of andere wijze afhangt van de potentiële energie en van de totale energie:

$$E = \frac{p^2}{2m} + U(x)$$

De oplossing van deze vergelijking hangt af van $V(x)$. Voor een vrij deeltje is de potentiële energie nul, zodat de vergelijking herleid wordt tot:

$$-\frac{\hbar^2}{8\pi^2 m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} = E \psi$$

wat ook geschreven kan worden als:

$$\frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{2mE}{\hbar^2} \psi = 0 \quad (6)$$

Vermits $E = p^2/2m$ (vrij deeltje) en $p = \hbar k$, waarin k het cirkelgolfgetal²¹ is. We krijgen dan voor E : $\hbar^2 k^2/2m$ zodat vergelijking (6) wordt:

$$\frac{d^2 \psi}{dx^2} + k^2 \psi = 0 \quad (7)$$

welke identiek is aan de vergelijking voor amplitude van staande golven met golflengte $\lambda = 2\pi /k = h/p$. Door directe substitutie zien we dat de differentiaalvergelijking (7) als oplossing heeft de golffuncties:

$$\psi(x) = e^{ikx} \quad \text{en} \quad \psi(x) = e^{-ikx}$$

De eerste golffunctie stelt een deeltje voor dat in de +x-richting beweegt en de tweede een dat in de -x-richting beweegt. De algemene oplossing van vergelijking (7) is dus:

$$\psi(x) = Ae^{ikx} + Be^{-ikx}$$

In deze vergelijking is het imaginaire getal $i (= \sqrt{-1})$ opgenomen. De golf van Schrödinger is dus geen reële golf en heeft dus geen directe fysische interpretatie. Dit wil zeggen dat de intensiteit van de golf niet kan worden gemeten. Max Born stelde echter een geheel nieuwe interpretatie voor van de elektrongolf. Het is een maat voor de waarschijnlijkheid dat een elektron in een gegeven gebied van de ruimte gevonden zal worden. Beschouwen we bijvoorbeeld een elektron dat zich in een doos beweegt. Hoewel we op geen enkel tijdstip iets van zijn positie weten, kunnen we zijn beweging beschrijven door de Schrödingervergelijking. Als we deze oplossen, krijgen we de golffunctie van het elektron, die ons meer vertelt over de plaats waar we het elektron kunnen vinden. Eerst vervangen we $\sqrt{-1}$ waar dit voorkomt in de golffunctie door $-\sqrt{-1}$, hetgeen ons de complex geconjugeerde golffunctie oplevert. Als we nu de golffunctie vermenigvuldigen met deze complex geconjugeerde, geeft de grootte die we dan krijgen (de absolute waarde van de golffunctie) de waarschijnlijkheid dat we het elektron zullen vinden in een willekeurig gekozen punt binnen de doos.

²¹ Voor het cirkelgolfgetal geldt: $k = 2\pi / \lambda$.

Volgens de interpretatie van Born is de golf van Schrödinger een waarschijnlijkheidsgolf. (Motz en Weaver, 1993, blz. 348) De waarschijnlijkheid van het bestaan van een bepaalde toestand wordt dus volgens hem gegeven door het kwadraat van de genormaliseerde amplitude van de individuele golffunctie:

$$|\psi(x)|^2 = \psi^*(x)\psi(x) = P(x)$$

Dit was een nieuw concept - de waarschijnlijkheid dat een bepaalde quantumtoestand bestaat. Geen exacte antwoorden meer dus, in de atoomtheorie is er alleen sprake van waarschijnlijkheden. Het betreft hier echter geen waarschijnlijkheid uit onwetendheid. Deze waarschijnlijkheid is het enige wat we ooit kunnen weten.

In het algemeen voorspelt de quantummechanica voor een waarneming dus niet één bepaalde uitkomst. In plaats daarvan voorspelt ze een aantal mogelijke uitkomsten en zegt ons hoe waarschijnlijk elke mogelijkheid is. Dat wil zeggen, wanneer we dezelfde meting verrichten bij een groot aantal vergelijkbare systemen, die elk op dezelfde manier zijn begonnen, dan zouden we merken dat de uitkomst van de meting in een aantal gevallen A is, in sommige gevallen B, enzovoort. We zouden bij benadering het aantal keren kunnen voorspellen dat de uitkomst A is, of B, maar het specifieke resultaat van een afzonderlijke meting valt niet te voorspellen. De quantummechanica brengt daardoor een onontkoombaar element van onvoorspelbaarheid of toeval in de natuurwetenschap. (Hawking, 1988, blz 76)

De waarschijnlijkheid om een deeltje überhaupt ergens, waar dan ook, aan te treffen is per definitie gelijk aan 1. Dat noemen we de normeringsvoorwaarde:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\psi(x)|^2 dx = 1$$

De theorie geeft dus waarschijnlijkheidsverdelingen voor de mogelijke waarden van fysische grootheden zoals positie, momentum²², energie enz. Nu zijn er toestanden van een systeem waarin de waarschijnlijkheidsdistributie van positie zeer sterk geconcentreerd is op een bepaalde positie, zodat men bijna zeker is om het systeem in die bepaalde positie te vinden. Hetzelfde geldt voor het momentum. Nochtans is de theorie zodanig, dat er geen toestanden bestaan waarvoor de waarschijnlijkheidsverdeling van zowel positie als momentum sterk

²²

Het momentum van een object is het product van zijn massa met zijn snelheid.

geconcentreerd is. Naarmate we meer zekerheid hebben over de positie, wordt de onzekerheid over momentum groter. Dit betekent ook dat het concept ‘traject van een deeltje’ in de quantumtheorie geen betekenis heeft vermits dit concept veronderstelt dat we exacte waarden kunnen toekennen voor zowel momentum als positie van een deeltje.

3.2.4.3. Diracs transformatietheorie

Dirac gebruikte vectoren in een abstracte meerdimensionale ruimte om quantummaterie voor te stellen. Beweging komt dan overeen met rotatie van vectoren. Vermits er verschillende coördinatensystemen kunnen gekozen worden, betrof een groot deel van Diracs theorie de transformatie van één systeem naar een ander, vandaar de naam transformatietheorie. Dirac was bovendien in staat om aan te tonen dat zowel Schrödingers golftheorie als Heisenbergs matrixmechanica speciale gevallen waren van zijn eigen transformatietheorie.

3.3. Complementariteit

In het begin van deze eeuw waren er dus drie belangrijke stellingen of gevolgtrekkingen uit experimenteel onderzoek, die er niet waren voor 1900:

- het tweevoudig karakter van elektromagnetische straling;
- het bestaan van discrete waarden voor fysische kwantiteiten;
- de suggestie van De Broglie dat ook materie een tweevoudig (golfachtig en deeltjesachtig) karakter heeft. (Schiff, 1988, blz. 3).

Deze vaststellingen riepen bij Bohr twee belangrijke vragen op:

- 1) Hoe kan een beschrijving in termen van continue parameters gebruikt worden voor een systeem dat discontinu verandert?
- 2) Hoe kan de contradictie tussen golven en deeltjes verklaard worden?

3.3.1. Bohrs quantumpostulaat

In 1912 vatte Bohr het idee op om het atomisch systeem voor te stellen als iets dat bestaat in een stationaire toestand, waarin er geen enkele straling is. Deze radicale hypothese, die hij later het quantumpostulaat noemde impliceert dat we ervan uitgaan dat atomische systemen enkel bestaan in discrete toestanden, die gekarakteriseerd zijn door een bepaalde waarde van energie. In tegenstelling tot de klassieke principes is dit een stabiel systeem. (Folse, 1985, p 63)

Bohrs quantumpostulaat is niet enkel de basis voor zijn atoommodel, maar impliceert tevens dat we de klassieke vooronderstelling verlaten dat fysische systemen continu veranderen. Immers, als atomen alleen in specifieke toestanden bestaan, zou een verandering van de ene toestand naar de andere niet continu kunnen gebeuren. Dit zou dan veronderstellen dat de atomische systemen door toestanden bewegen die elke mogelijke energiewaarde tussen de twee stationaire toestanden hebben. Dit is volgens Bohrs quantumpostulaat uitgesloten.

De vraag die Bohr zich nu stelde was: hoe moet het klassieke raamwerk veranderd worden opdat het consistent zou zijn met het quantumpostulaat?

Bohr achtte drie aspecten van het klassieke raamwerk belangrijk: (Folse, 1985, blz. 67 ev.)

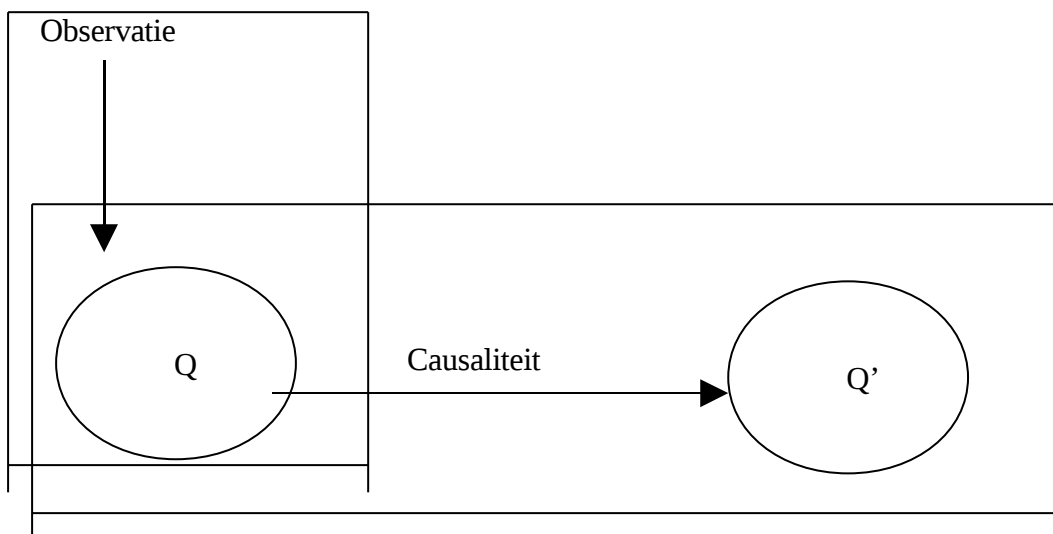
- de ruimte-tijdbeschrijving (bijvoorbeeld gesymboliseerd als $q(x,t)$) als datgene wat bepaald wordt door middel van observatie;
- de causaliteitsclaims (bijvoorbeeld de toestand q' volgt causaal uit de toestand q), die ons in staat stellen om de toestand van een geobserveerd systeem te beschrijven;
- de vooronderstelling dat de toestand van fysische systemen continu veranderen doorheen de tijd.

In de klassieke mechanica was het ideële doel van observatie volgens Bohr het maken van een ruimte-tijdbeeld van de bewegingen van de lichamen die samen een gesloten systeem vormen. Zo'n beschrijving noemt Bohr de "ruimte-tijdbeschrijving" of een "beschrijving door middel van de modus van ruimte-tijd coördinatie". Zo'n beschrijving kan gewoonweg het resultaat zijn van observatie. Daarom zei Bohr dat ruimte-tijdbeschrijvingen het ideaal van observatie vervullen. Hiermee hebben we echter nog geen adequate mechanica, want we moeten ook in staat zijn om de toestand van systemen te beschrijven nadat zij in interactie zijn geweest met een ander systeem. Dit betekent dat er rekening moet gehouden worden met het effect van interacties. Bohr refereerde naar dit aspect van de mechanica als de modus die de "causaliteitsclaim" toepast. Wanneer we de twee typen van beschrijving samennemen, spreken we van de "causale ruimte-tijdmodus van beschrijving".

Binnen een gesloten systeem is het momentum en de energie van het systeem behouden. Dus als we de mechanische toestand van een component of een interactie binnen een gesloten systeem voor en na de interactie kennen, dan wordt het mogelijk om de principes van behoud van energie en momentum toe te passen om te bepalen hoe de interactie de toestand van de

andere componenten in het systeem heeft veranderd. De behoudsprincipes maken het dus mogelijk de causaliteitsclaim toe te passen.

Maar om dit te doen, moeten we de ‘initiële condities’ bepalen door middel van observatie. Dit betekent dat een observatiesysteem een causaal effect zal hebben op het geobserveerde systeem. Maar daardoor is het geobserveerde systeem niet langer gesloten. Dit laatste is echter vereist om de causaliteitsclaim te kunnen toepassen. Natuurlijk was de observationele interactie in de klassieke situatie altijd tussen relatief grote objecten. Het effect van de observationele interactie was dus verwaarloosbaar. Maar zelfs in die gevallen waar het niet kon genegeerd worden, stond de causaliteitsclaim toe om de observationele interactie te beschrijven zodat hiermee rekening kon worden gehouden bij de definitie van de toestand van het systeem in isolatie van de observatie-interactie. Maar strikt gesproken is de toestand van het geïsoleerd systeem dat moet worden gedefiniëerd om het toekomstig gedrag te voorspellen niet bepaald door *observatie*, vermits dit fysisch onmogelijk is, maar *gedefiniëerd* door middel van de causaliteitsclaim.



Bohr legt het als volgt uit:

“Deze situatie heeft vérstrekkende gevolgen. Aan de ene kant eist de definitie van de toestand van een fysisch systeem, op de gebruikelijke wijze verstaan, de eliminatie van alle uitwendige storingen. Maar in dat geval is volgens het quantumpostulaat elke waarneming onmogelijk en verliezen bovendien de begrippen ruimte en tijd hun

directe betekenis. Als we aan de andere kant, ten einde waarneming mogelijk te maken, bepaalde wisselwerkingen met geschikte meetinstrumenten, die niet tot het systeem behoren, toelaten, is een ondubbelzinnige definitie van de toestand van het systeem natuurlijk niet langer mogelijk en kan er geen sprake zijn van causaliteit in de gebruikelijke betekenis van het woord. Zo dwingt de aard van de quantumtheorie zelf ons er toe, tijd-ruimtelijke coördinatie en veronderstelde causaliteit – welke vereniging de klassieke theorieën kenmerkt – als complementaire, maar elkander uitsluitende kenmerken van de beschrijving te beschouwen, die respectievelijk de ideale waarneming en de ideale definitie vertegenwoordigen.” (Bohr, 1966, blz. 76)

In het klassieke raamwerk is het theoretisch altijd mogelijk om op elk punt van interactie de toestand van elk van de interagerende systemen afzonderlijk te bepalen omdat de toestanden van deze systemen continu veranderen. Enkel op basis van deze premisse wordt het mogelijk om de ‘verstoring’ gecreëerd door een observerend systeem te bepalen en aldus gebruikt worden om de toestand van het systeem in isolatie te beschrijven. Welnu, vermits de vooronderstelling van continuïteit van verandering ongegrond is, is ook het klassieke ideaal van beschrijving niet meer houdbaar.:

“ Het quantumpostulaat houdt in dat elke waarneming van atomaire verschijnselen een niet verwaarloosbare wisselwerking met het waarnemingsinstrument meebrengt. Dientengevolge kan noch aan de verschijnselen, noch aan de waarnemingsinstrumenten een onafhankelijke realiteit toegeschreven worden, in de normale fysische betekenis van die uitdrukking. Ten slotte is het begrip waarneming in zoverre willekeurig als het afhankelijk is van welke objecten tot het waar te nemen stelsel gerekend worden.” (Bohr, 1966, blz. 75)

Bohrs onderzoek zal leiden naar zijn eerste versie van complementariteit:

“The very nature of the quantum theory thus forces us to regard the space-time-coordination and the claim of causality, the union of which characterizes the classical theories, as *complementary* but exclusive features of the description, symbolizing the idealization of observation and definition respectively”. (Bohr geciteerd in Folse, 1985, blz. 104)

3.3.2. Het onzekerheidsprincipe

Om de toestand van een systeem te bepalen, is het noodzakelijk om in een verschillende observatie zowel momentum en positie op hetzelfde moment te meten. De bepaling van moment veronderstelt echter een interactie met het geobserveerd systeem die fysisch de observatie van de positie onmogelijk maken. Dus ook in het klassieke raamwerk kan positie en momentum niet simultaan bepaald worden door middel van observatie. Maar in de klassieke theorie kunnen we de verschillende observaties doen op verschillende tijdstippen en dan kunnen we theoretische de waarde van de ene parameter bepalen op het tijdstip van de andere. Dit veronderstelt echter wel dat de parameters continu in de tijd veranderen. Folse vat het onzekerheidsprincipe als volgt samen:

The “uncertainty” relation express the mathematical consequence of the quantum mechanical formalism that it is impossible to define the state of a physical system by precise values of the canonically conjugate parameters which define its classical mechanical state. Because of this fact, it is not possible within the quantum mechanical representation to describe a physical system by means of *both* a “space-time picture” giving the precise loci of all the system’s components *and* a precise determination of the momentum and energy parameters necessary to apply the “claim of causality” through the conservation principles. One can make either description as precise as desired, but the more precisely one is determined, the greater the indeterminacy introduced into the canonically conjugate parameter. Thus in representing a system within the quantum mechanical formalism, the more precisely we realise what Bohr called the “ideal of observation” by determining the spatial positions of the system’s components at an instant, the greater indeterminacy we introduce into the theoretical prediction of the future change of that system’s state, or in other words the less precisely we are able to define the future state of the system by applying the claim of causality to achieve what Bohr called the “ideal of definition”. (Folse, 1985, blz. 93)

3.3.3. De golf-deeltjes dualiteit

Dit betekent dus dat noch deeltjes, noch golven bestaan in de gewone klassieke zin. Immers, golven zijn nog slechts abstracte symbolen die de toestand van een systeem voorstellen en de deeltjes zijn objecten die geen traject hebben.

Hoe moeten we dit nu interpreteren? Een eerste interpretatie werd gegeven door Werner Heisenberg. (1990, blz 30) Hij merkte op dat we in fysica uiteindelijk werken met wat in principe kan worden geobserveerd. Maar elke observatie verstoort het object. Observeren betekent dus in interactie treden met het object. In de klassieke mechanica kon deze interactie echter zeer minimaal gehouden worden, zodat het mogelijk is om in de klassieke fysica te spreken van een ‘ongestoord’ object. Maar in quantumfysica kunnen we geen willekeurig kleine hoeveelheid licht nemen, we moeten altijd op zijn minst één quantum gebruiken. Dit quantum zal bij het deeltje een verstoring teweeg brengen en bijvoorbeeld de snelheid ervan op een onvoorspelbare manier veranderen. Bovendien zal, naarmate we de positie nauwkeuriger meten, de golflengte van het licht dat we nodig hebben korter zijn, en daardoor wordt de energie van één quantum hoger. De snelheid van het deeltje zal dan in nog grotere mate verstoord worden. We kunnen dus zeggen dat hoe nauwkeuriger we de positie van een deeltje meten, des te onnauwkeuriger we zijn snelheid kunnen meten, en omgekeerd. Heisenberg toonde aan dat de onzekerheidsfactor in de positie van het deeltje vermenigvuldigd met de massa van het deeltje nooit kleiner kan zijn dan de constante van Planck. Bovendien is deze limiet niet afhankelijk van de manier waarop we de positie of de snelheid van het deeltje trachten te meten en evenmin van het soort deeltje: het onzekerheidsprincipe van Heisenberg is een fundamentele eigenschap van de wereld, waaraan niets zich kan onttrekken. (Hawking, 1988, blz 75)

Een tweede interpretatie kwam van Bohr. Hij merkte op dat niet het feit dat de meting van de positie het momentum verstoort niet zo belangrijk is. Wat wel van belang is, is dat deze verstoring niet kan worden geanalyseerd. Als we deze immers konden analyseren, dan kon er rekening mee gehouden worden. Maar deze verstoring kan niet worden geanalyseerd omdat het quantum van interactie ondeelbaar is. In de klassieke fysica zijn alle processen continu, we kunnen ze dus causaal beschrijven. Maar in quantumfysica zijn alle basisinteracties discontinue omwille van de ondeelbaarheid van het quantum. Wat er tijdens een quantumproces gebeurt kan dus niet op een causale manier worden beschreven. Daarom kan het resultaat van een meting enkel gegeven worden op een statistische manier. Omwille van deze ondeelbaarheid van het quantum vormen nu het object en het meetapparaat tijdens de meting een ondeelbaar en niet analyseerbaar geheel. Dit betekent dat de fysica enkel kan werken met dat geheel. We kunnen dus niets zeggen over het object afzonderlijk, maar alleen over het object in een welbepaalde observationele situatie. Of in Bohrs woorden:

“The quantum postulate “implies that any observation of atomic phenomena will involve an interaction with the agency of observation not to be neglected.

Accordingly, an independent reality in the ordinary physical sense can neither be ascribed to the phenomena nor to the agencies of observation.”(Bohr in Gibbins, 1987, blz 55)

Dit geheel van object binnen observationele situatie noemt Bohr het fenomeen. (Hilgevoord, 1992, blz. 47-48).

Daarom is in tegenstelling tot de klassieke fysica het elektron op zich geen gepast object. Maar een elektron dat op een bepaalde manier gemeten wordt is wel een geschikt quantumfysisch object. Eenzelfde elektron dat op twee verschillende manieren wordt geobserveerd zijn dan volgens Bohr twee verschillende fenomenen, waardoor het golf-deeltjes probleem voor elektronen is opgelost. Deze manier van begrijpen is de ‘complementaire oplossing’. Dit betekent ook dat een object op het quantumniveau geen ‘intrinsieke’ eigenschappen heeft, maar dat het deze eigenschappen deelt met het systeem waarmee het in interactie gaat. We kunnen dus deeltjes- of golfaspecten van het elektron bekijken als verschillende vormen van dezelfde materiële entiteit. In beide gevallen, zullen gepaste omgevingsvoorwaarden (metingen) het ene of het andere aspect aan het licht brengen.

Het wordt nu ook duidelijk dat er in Bohrs interpretatie geen sprake is van ‘verstoring’ van het object door de meting: de meting definieert wat wordt geobserveerd. Als we uitgingen van een verstoring, dan zou dit impliceren dat de parameters die refereren naar de toestand van een systeem betrekking hebben op een onafhankelijke fysische realiteit. Dit is echter een vooronderstelling die Bohr tussen haakjes heeft gezet (Folse, 1985, blz. 23-24)

3.3.4. Verschil tussen klassieke en quantumfysica

Het is al duidelijk dat de wetten uit de quantummechanica totaal verschillen van deze van de klassieke fysica. Het eerste verschil is dat waar de klassieke fysica zich bezighoudt met continu variërende kwantiteiten, de quantumfysica vooral bezig is met discontinue of ondeelbare processen. Waar er dus in de klassieke fysica gesproken werd van continue trajecten, zal de quantumfysica de notie van de ondeelbare overgangen hanteren. Een tweede essentieel verschil is dat in de klassieke theorie de relatie tussen variabele op een eerder tijdstip met deze op een later tijdstip volledig gedetermineerd is, terwijl quantumwetten enkel waarschijnlijkheden van toekomstige gebeurtenissen vastlegt op basis van voorwaarden uit het verleden. Dit betekent dat het concept van compleet determinisme wordt vervangen door causaliteit als een statistische trend.

Ten slotte betekenen deze verschillen dat de assumptie dat de wereld in afzonderlijke delen kan worden bestudeerd, en waarbij elk deel een welbepaalde intrinsieke natuur heeft (bijvoorbeeld golf of deeltje) moet vervangen worden door de idee van een wereld als een ondeelbaar geheel waarin ieder deel slechts als een abstractie of benadering verschijnt. (Bohm, 1989, blz. 26 en 144)

3.3.5. Complementariteit als interpretatie van quantummechanica

In Bohrs eerste versie van complementariteit (zie punt 5.2) wordt de complementaire relatie gedefinieerd als een relatie tussen het ruimte-tijd coördinaat en de claim van causaliteit. Pas later zal Bohr spreken van een complementariteit tussen golven en deeltjes. Bohr zelf verklaart nooit de relatie tussen deze twee soorten complementariteit, afgezien van enkele korte commentaren. Maar volgens Folse (1985, blz. 120) kunnen we ervan uitgaan dat Bohr ruimte-tijdbeschrijving niet wil associëren met het deeltjesbeeld, noch de causale beschrijving met het golfbeeld (wave picture). Immers, de term ‘partikel’ refereert naar dat wat bestaat in de klassieke mechanische toestand en dit concept vereist beide: positie en momentum van het deeltje. Dus elke welgevormde definitie van ‘partikel’ kan niet het resultaat zijn van een toepassing van enkel de ruimte-tijdbeschrijving. Hetzelfde geldt voor het concept golf.

Sommige auteurs besluiten dat er voor Bohr twee soorten complementariteit bestaan. Wanneer Bohr refereert naar ‘complementaire fenomenen’ na 1939, kunnen we ervan uitgaan dat hij het heeft over ‘golfffenomenen’ en ‘deeltjesfenomenen’ in de zin van twee verschillende ‘aspecten’ of entiteiten in het domein van de atomen zoals we ze observeren. Deze zienswijze lijkt totaal anders dan de positie dat complementariteit bestaat tussen ruimte-tijd coördinatie en causale beschrijving. Zo spreekt Weizsäcker van ‘parallele’ en ‘circulaire’ complementariteit. (Weizsäcker in Jammer, 1974, blz. 103) De complementariteit tussen positie en momentum noemt hij parallel omdat de complementaire relatie bestaat tussen twee concepten (positie en momentum) die beide behoren tot hetzelfde intuïtieve beeld van het fysische proces en beide hebben welbepaalde waarden in de klassieke fysica als de toestand van het systeem compleet gedefinieerd is. De relatie tussen ruimte-tijd beschrijving en causale beschrijving noemt hij ‘circulaire complementariteit omdat deze twee, die in het klassieke model niet werden gecombineerd, elkaar wederzijds bepalen. (Jammer, 1974, blz. 103) Maar Bohr zelf houdt vol dat de complementariteit van de modes van beschrijving en deze van de fenomenen twee consequenties zijn van het quantumpostulaat. Immers, de fenomenen die kunnen worden beschreven als een observationele interactie die de positie of tijd bepalen, sluiten die fenomenen

uit die kunnen beschreven worden als een interactie die energie of momentum bepaalt. Deze fenomenen zijn dus ‘complementair’ ten gevolge van de complementaire relatie tussen de ruimte-tijdbeschrijving en de causale beschrijving om het momentum en de energie te bepalen met behulp van de conservatiewetten. We kunnen inderdaad één van deze fenomenen omschrijven als een ‘deeltje’ en de andere als een ‘golf’. De ene soort complementariteit is dus ‘afgeleid’ van de andere maar we mogen niet veronderstellen dat het ‘deeltjesbeeld’ moet worden geïdentificeerd met beschrijvingen van fenomenen die ruimte of tijdparameters bepalen en het ‘golfbeeld’ met fenomenen waarin momentum en energie worden bepaald. (Folse, 1985, blz. 159)

Bohr zegt in *Atomic Theory and the Description of Nature* dat het quantum van actie:

“forces us to adopt a new mode of description designated as *complementary* in the sense that any given application of classical concepts precludes the simultaneous use of other classical concepts which in a different connection are equally necessary for the elucidation of the phenomena.” (Bohr, geciteerd in Murdoch, 1990, blz. 59)

Dit is volgens Murdoch de zin die van al wat Bohr schreef over complementariteit het dichtst op een definitie lijkt.

De kenmerken van complementaire concepten of statements in de betekenis die Bohr eraan geeft zijn volgens Murdoch:

- ze zijn verschillend van betekenis, of prediceren verschillende eigenschappen;
- te samen of gezamenlijk vormen ze een totale beschrijving of representatie van een ding;
- ze zijn wederzijds uitsluitend of incompatibel ofwel in logische zin ofwel in empirische zin. (Murdoch, 1990, blz. 60-61)

Bohm vat het principe van complementariteit als volgt samen:

“At the quantum level, the most general physical properties of any system must be expressed in terms of complementary pairs of variables, each of which can be better defined only at the expense of a corresponding loss in the degree of definition of the other. This principle is clearly in sharp contrast to the classical concept of a system that can be described by specifying all the relevant variables to an arbitrarily high precision. For, in the quantum theory, complementary pairs of variables are to some extent opposing potentialities, either of which can be made to develop a more precise

value but only under conditions wherein the other develops a less precise value. This means, of course, that complementary variables are not actually incompatible, provided that they are not too precisely defined; it is only the complete precision of definition of each which is incompatible with that of the other.”(Bohm, 1989, blz 160)

Een nog algemenere manier om complementariteit te omschrijven vinden we wanneer de relatie verschijnt tussen stukjes informatie:

“Information regarding the behavior of an atomic object obtained under definite experimental conditions may... be adequately characterized as *complementary* to any information about the same object obtained by some other experimental arrangement excluding the fulfillment of the first conditions.” (Bohr, geciteerd in Folse, 1985, blz. 160 Folse)

3.3.6. Complementariteit als raamwerk

Sommigen concludeerden dat Bohr's complementariteitsconcept enkel betekende dat de quantummechanische systemen moeten beschreven worden door middel van twee wederzijds uitsluitende gezichtspunten (het golfbeeld en het deeltjesbeeld). Maar deze conclusie gaat, aldus Folse voorbij aan de essentie van zijn ideeën, nl complementariteit als een nieuw raamwerk. (Folse, 1985, blz. 22)

Bohr zag complementariteit als een algemeen raamwerk, waarin de beschrijving van fysische fenomenen kan worden begrepen. Vanuit zijn diepe overtuiging van de ‘eenheid van kennis’ geloofde Bohr dat de quantumrevolutie uiteindelijk zou leiden tot een algemene complementaire filosofie van empirische kennis. Bohr gaat ervan uit dat de empirische wetenschappen hetzelfde observatieprobleem met elkaar delen, namelijk het probleem om een raamwerk te ontwerpen dat geschikt is voor de eenduidige beschrijving van fenomenen. Vermits dus alle wetenschappen zo'n eenduidige beschrijving vereisen op basis van observatie, zal een ontdekking over de aard van observatie uiteindelijk alle wetenschappen beïnvloeden. In het klassieke raamwerk was het criterium van objectiviteit dat de eigenschappen, die werden toegewezen aan objecten, eigenschappen waren die enkel bij het object horen en totaal niets te maken hebben met de interactie van het object met de observator. Dit impliceert dat een objectieve beschrijving alleen mogelijk is als de beschreven eigenschappen worden gezien als de eigenschappen van een onafhankelijke realiteit. Dit is echter alleen zo in het speciale geval waar het causale effect van de interactie van de observator precies kan worden gecontroleerd of als verwaarloosbaar kan worden beschouwd. Uit het quantumpostulaat volgt dat dit niet het

geval is bij de beschrijving van atomische systemen. Het effect van observatie kan niet precies worden bepaald of niet nauwkeuriger dan het onzekerheidsprincipe toelaat. De fysische condities die dus nodig zijn voor de definitie van een toestand (state) van een geïsoleerd systeem (niet-interactie) verhinderen deze die noodzakelijk zijn om het te observeren (interactie). Maar om een interactie te beschrijven als een observatie is het noodzakelijk dat men de toestand van het object in isolatie theoretisch definieert. Anderzijds, wil een beschrijving geconfirmeerd worden met empirische middelen, dan moet het object worden geobserveerd. Om dus een observatie te kunnen ‘interpreteren’, moet het interagerend systeem duidelijk onderscheiden zijn door middel van de ruimte-tijdbeschrijving. Maar om te ‘beschrijven’ wat het effect is van het ene systeem op het andere is de causale mode nodig. Deze twee ‘descriptive modes’ beschouwt Bohr als complementair omdat elk van hen in combinatie leidt tot een éénduidige beschrijving van alles dat de observatie kan onthullen over een fysisch systeem dat in atomaire fysica wordt beschreven. De prijs die betaald moet worden is wel dat we er niet meer vanuit gaan dat de theoretische representatie van de toestand van het geïsoleerd systeem de eigenschappen van een onafhankelijke realiteit representeren. Complementariteit betekent dan dat de klassieke concepten refereren naar eigenschappen, die behoren tot het fenomenale object, dat wil zeggen het geobserveerde object. Dit geldt echter ook in andere wetenschappelijke disciplines, waar het effect van interactie niet kan worden genegeerd of precies gedetermineerd. Bohr drukt dit uit in zijn veelherhaalde “admonition” dat

“it must never be forgotten that we ourselves are both actors and spectators in the drama of existence” (Bohr, geciteerd in Folse, 1985, blz. 172)

Bohr was ervan overtuigd dat complementariteit kon worden uitgebreid naar terreinen buiten de fysica, omdat bepaalde fenomenen een observationele interactie vereisen die ‘ondeelbaar’ is, d.w.z. dat deze interactie onvoorspelbaar is in wat betreft het causaal effect ervan op de toestand van het waargenomen object. Op basis van Bohr’s toepassing van complementariteit op psychologie, kunnen we de kenmerken destilleren van een complementaire analyse van empirische kennis in het algemeen: (Folse, 1985, blz. 182-183)

1. Wat meestal werd begrepen als een probleem betreffende de aard van de realiteit (zijn elektronen partikels of deeltjes, is de wil vrij of gedetermineerd) moet nu begrepen worden als een probleem in het gebruik van concepten om bepaalde aspecten van de ervaring te beschrijven.

2. Twee modes van beschrijving zijn noodzakelijk. In de ene is het object beschreven als onmiddellijk interagerend met het subject of het observerende systeem. Deze beschrijving is echter ambigu omdat wat beschreven wordt het hele fenomeen is waarin subject en object niet kunnen worden onderscheiden. Om dus de beschrijving objectief te maken (het object niet ambigu te beschrijven) moeten we een tweede mode van beschrijving combineren met de eerste. In deze tweede mode is het object gedefinieerd in isolatie van de observerende interactie.
3. Elke eenduidige (niet ambigu) beschrijving moet noodzakelijk onderscheid maken tussen de observator en het geobserveerde object. Dit onderscheid mag op elk punt gemaakt worden, maar er moet duidelijk gespecificeerd worden hoe het onderscheid werd gemaakt.
4. Metafysische conflicten rond de aard van de realiteit zullen verdwijnen, eens men realiseert dat de verwarring is ontstaan omdat men zich niet realiseerde dat de verschillende beschrijvingen niet naar hetzelfde object verwijzen, maar naar complementaire fenomenen, die enkel te samen een éénduidige beschrijving kunnen geven van de aard van de objecten die aan de fenomenen ten grondslag liggen.
5. Een verbeterd begrip van de natuur aan de hand van het raamwerk van complementariteit ontstaat, niet door het ontwikkelen van nieuwe, meer gesofisticeerde concepten om ervaring te beschrijven, maar wel door een begrip van de condities die nodig zijn voor een éénduidig gebruik van beschrijvende concepten.

3.4. Complementariteit en epistemologie

Als we complementariteit aanvaarden, wat leert de moderne fysica ons dan op epistemologisch vlak? In zeer algemene termen kan in ieder geval gesteld worden dat de les voor epistemologie is dat we op een atomair niveau niet dezelfde soort objectiviteit kunnen bereiken voor de beschrijving van fysische fenomenen als in de klassieke fysica: de eigenschappen van atomische systemen hangen immers af van de methode van observatie.

Het quantumsysteem en de meetapparatuur hebben volgens Bohr geen ‘onafhankelijke realiteit’. Dit wil niet zeggen dat de quantumwereld niet bestaat, maar dat we in de quantumtheorie te maken hebben met gehelen of fenomenen. De dynamische variabelen van positie, momentum en energie, die in de klassieke fysica eigenschappen zijn van een systeem,

moeten in quantummechanica gezien worden als eigenschappen van het gehele fenomeen, dat is het quantumsysteem, het meetapparaat en de interactie ertussen. (Gibbins, 1987, blz. 55-56) Vanuit deze interpretatie werd Bohr vaak gezien als een antirealist, die er dus ook vanuit ging dat kennis van de realiteit achter de fenomenen noch mogelijk noch noodzakelijk is. Volgens Folse is dit een foutieve interpretatie. Hij geeft toe dat Bohr inderdaad argumenteert dat de klassieke poging om de realiteit voor te stellen afzonderlijk van de observator berust op een abstractie of idealisatie die niet overeenstemt met hoe de wereld werkelijk zonder onze observatie is. Dit betekent echter nog niet dat de theoretische termen naar helemaal niets verwijzen. De assumptie die Bohr volgens Folse wel verwerpt:

“Either reference must also require assuming that objective knowledge requires being able to “picture” or “represent” the object as the seat of a set of properties possessed by the object itself apart from any observational interaction with the subject that acquires such knowledge.”(Folse, 1992, blz. 52-53)

Bohr beweert dus volgens Folse niet dat er geen echt atomisch object zou zijn dat een interactie heeft met het beschrijvende systeem. Wat hij wel beweert is dat de klassieke concepten die we gebruikten om fenomenen te beschrijven niet in staat zijn om de objecten zelf, die bij de interactie betrokken zijn te beschrijven. Immers, zolang we onze beschrijvingen toepassen op de fenomenen, is er geen probleem. Maar wanneer we dezelfde beschrijvingen toepassen op de objecten achter de fenomenen wordt alles ongedefinieerd of in Bohrs termen ‘ambigu’. Bohr is dus zeer voorzichtig met ontologische uitspraken, maar legt des te meer de nadruk op de epistemologische lessen die we kunnen trekken uit de quantumfysica. Hoewel complementariteit noch een nieuwe epistemologie is, noch een ontologie, kunnen we het toch zien als een raamwerk voor de beschrijving van de natuur. Vanuit dit raamwerk moeten we dan echter enkele vooronderstellingen uit de traditionele epistemologie in vraag stellen.

3.4.1. Complementariteit en objectiviteit

Voor Bohr verwijst het probleem van de objectiviteit niet naar hoe subjectieve ervaringen de externe wereld kunnen voorstellen maar naar de taak om een adequaat raamwerk te formuleren voor een éénduidige beschrijving van de natuur. Dit betekent dat we het begrip “objectiviteit” moeten begrijpen vanuit een nieuwe achtergrond:

“Common to the schools of the so-called empirical and critical philosophy, an attitude therefore prevailed of a more or less vague distinction between objective knowledge and subjective belief. By the lesson regarding our position as observers of nature,

which the development of physical science in the present century has given us, a new background has, however, been created just for the use of such words as objectivity and subjectivity. From a logical standpoint, we can by an objective description only understand a communication of experience which does not admit of ambiguity as regards the perception of such communications.” (Bohr in Folse, 1985, blz. 15)

In de traditionele visie werd een wetenschappelijke beschrijving als een objectieve beschrijving aanzien omdat men geloofde dat deze beschrijving de eigenschappen bepaalde die een object had op zichzelf (buiten elke observationele bepaling om). De methodologie van wetenschap was erop gericht een middel te vinden om eigenschappen te bepalen en tegelijkertijd elk element refererend naar de rol van het observerend systeem uit te sluiten. Bohr argumenteerde dat deze opvatting van objectiviteit in wetenschappelijke beschrijvingen moet worden herzien. Voor hem is de objectiviteit gebaseerd op de concepten die men gebruikt voor de beschrijving van ervaring. Deze concepten verzekeren de objectiviteit niet doordat ze enige rol zouden spelen bij de totstandkoming van ervaring, maar eerder door ervoor te zorgen dat de communicatie door middel van deze concepten éénduidig is. (Folse, 1985, blz. 206) Objectiviteit is dus voor Bohr een eigenschap van de beschrijvingen van fenomenen.

3.4.2. Bohrs ‘fenomeen’

Hoewel Bohr oorspronkelijk sprak in termen van ‘verstoring’ van het systeem, zal hij na 1935 zijn visie wijzigen. Immers, als we spreken van een ‘verstoring’ van het systeem, dan gaan we ervan uit dat ‘systeem’ verwijst naar een onafhankelijke realiteit die gewijzigd is door de observationele interactie. Bohr argumenteert dat de klassieke termen ‘positie’ en ‘momentum’ ontdaan zijn van alle betekenis wanneer ze gehanteerd worden buiten de context van hun toepassing (beschrijving binnen de specifieke observationele interactie). Vanaf 1937 gebruikt Bohr het woord ‘fenomeen’ om te verwijzen naar de gehele observationele interactie. De termen ‘positie’ en ‘momentum’ hebben dan alleen betekenis wanneer ze verwijzen naar het ‘fenomeen’ opgevat als het geheel (het geobserveerde fenomeen). Zo toont Bohr in een antwoord op Einstein aan dat Einsteins notie van ‘fysische realiteit’ ambigu is. Enerzijds bepalen we de toestand van een systeem door observatie, het ‘systeem’ waarnaar we refereren is dan noodzakelijkerwijs het ‘fenomenale object’. Maar wanneer de geobserveerde eigenschappen van het fenomenale object beschouwd worden als effecten van eigenschappen van een onafhankelijke fysische realiteit, dan verwijst het ‘systeem’ wiens toestand is

gedetermineerd naar het object dat bestaat onafhankelijk van enige observatie. (Folse, 1985, blz. 150)

De beschrijvende concepten zijn dus enkel éénduidig wanneer ze verwijzen naar observationele fenomenale objecten. Hieruit mogen we echter niet afleiden dat Bohr de realiteit van een systeem onafhankelijk van observatie ontkent. Integendeel. Hij argumenteert dat het systeem als onafhankelijk object een abstractie is, wat niet wil zeggen dat het niet zou bestaan of geen betekenis zou hebben. Het punt is alleen dat er geen empirische garantie is om te besluiten dat de klassieke parameters refereren naar eigenschappen van zo'n onafhankelijke entiteit, en als we toch dit besluit zouden trekken, dan ontstaat er een contradictie nl: dat systemen niet compatibele eigenschappen bezitten: zowel deeltjes als golven. (Folse, 1985, blz. 151)

Folse vat Bohrs positie als volgt samen:

“Thus his position includes two claims: a) in describing phenomena, including so-called “atomic phenomena” which differ in no way *qua* phenomena from any other phenomena, the empirical reference of classical concepts given in experience guarantees that their use is consistent and unambiguous as long as the description of the phenomenon refers to the whole experimental situation described as the observational interaction; and b) since those classical concepts are thus defined only for the *description of phenomena*, there are no grounds for holding that such concepts can meaningfully refer to or “represent” properties of entities as they exist externally to our observations of them.” (Folse, 1985, blz. 204)

Deze zienswijze impliceert een herdefiniëring van het ‘object’. Immers de fenomenale objecten die gedefinieerd worden in de complementaire beschrijvingen zijn *verschillende* objecten. Als ze dus complementaire informatie verschaffen over ‘hetzelfde’ object, zoals Bohr beweert, dan is dit laatste object niet het fenomenale object, maar wel het ‘atomaire object’. Het concept ‘atomische’ object is voor Bohr, zoals gezegd, niet zonder betekenis. Maar de ‘conventionele attributen’ (die de klassieke toestand van een systeem bepalen) kunnen niet éénduidig worden geprediceerd van deze atomische objecten. Bohr argumenteert dat we de onafhankelijke realiteit (het atomische object) niet kunnen beschrijven zoals in het klassieke raamwerk, omdat daarin verschillende vooronderstellingen werden gemaakt over de aard van observatie. Een voorbeeld kan dit duidelijk maken. Beschouwd als een beschrijvend concept kan ‘temperatuur’ toegepast worden op grote lichamen met veel

moleculen. Als empirisch bewezen was dat zo'n lichamen kunnen beschouwd worden als continu deelbaar, dan zou men 'temperatuur', net zoals 'massa' of 'positie' toepassen op elk deeltje van materie ongeacht hoever het onderverdeeld is. Maar men ontdekte dat lichamen kunnen beschouwd worden als samengesteld uit vele moleculen en dat de eigenschap 'temperatuur' kan gezien worden als het causaal effect van de beweging van deze moleculen. Daarom wordt op basis van de fysische feiten het concept 'temperatuur' niet toepasbaar beneden het moleculair niveau. (Folse, 1985, blz. 161-165)

Deze visie impliceert ook dat het onderscheid tussen beschrijvend en beschreven systemen noodzakelijk is maar arbitrair. 'Observerend systeem' (subject) en geobserveerd 'object' zijn termen die enkel goed gedefinieerd zijn in een specifieke context van de beschrijving van een interactie. Zo worden ook 'subject' en 'object' categorieën van beschrijving, die enkel betekenis hebben in de context van een specifieke beschrijving van een fenomeen. Buiten deze context zijn deze termen ambigu. (Folse, 1985, blz. 203) In complementariteit correspondeert het onderscheid tussen geobserveerd object en observerend systeem niet met het ontologisch onderscheid tussen subject en object omdat het eerste onderscheid gemaakt wordt *binnen* de beschrijving van het fenomeen als observationele interactie, terwijl het onderscheid tussen subject en object gemaakt wordt *tussen* het ervarend subject en het fenomeen. (Folse, 1985, blz. 211) Dat het onderscheid tussen geobserveerd systeem en observator arbitrair is, betekent ook dat deze scheidingslijn kan verschuiven:

“Actually, ordinary language, by its use of such words as thoughts and sentiments, admits (a) typical complementary relationship between conscious experiences implying a different placing of the section line between the observing subject and the object on which attention is focused... In fact, the varying separation line between subject and object, characteristic of different conscious experiences is the clue to the consistent logical use of such contrasting notions as will, conscience and aspirations, each referring to equally important aspects of the human personality”. (Bohr, geciteerd in Folse, 1985, blz. 180)

Het concept van observatie is dan in die zin arbitrair dat het afhankelijk is van welke objecten ingesloten zijn in het geobserveerde systeem. We kunnen ons bijvoorbeeld de vraag stellen welke quantummechanische eigenschappen de meetapparatuur heeft. Maar dan moeten we de meter als een quantummechanisch systeem beschouwen en kunnen we hem niet meer zien als een klassiek object. We hebben dan echter een *andere* meter nodig om te meten wat de quantummechanische eigenschappen van de meetapparatuur zijn. (Pais, 1991, blz. 314)

3.4.3. Ontologische status van de onafhankelijke fysische realiteit

Eén van de vooronderstellingen was de idee dat kennis over een object eruit bestaat een zekere ‘voorstelling’ te maken van dat object. Deze voorstelling of dit model had bepaalde eigenschappen, die verondersteld werden isomorf te zijn met de eigenschappen van het reële object. (Folse, 1992, blz 55 e.v.) In de klassieke epistemologie ging men ervan uit dat men zowel het fenomeen als het reële object achter het fenomeen kon beschrijven in dezelfde termen, namelijk. door gebruik te maken van de zogenaamde primaire eigenschappen. Zo kon een mathematische voorstelling gemaakt worden van een kleurloze, smaakloze en geurloze wereld van substanties. De theorie van de primaire en secundaire kwaliteiten kwam er immers grosso modo op neer dat alle kwalitatieve waarnemingen van de fenomenen, zoals kleur, geur, warmte enz. konden worden herleid tot primaire eigenschappen, die kunnen worden gemeten en beschreven in wiskundige termen. Zo is bijvoorbeeld de secundaire eigenschap warmte niets meer dan beweging. Dit betekent dus dat de secundaire eigenschappen eigenlijk niets meer zijn dan primaire eigenschappen, alleen manifesteren ze zich anders wanneer we ze waarnemen.

Wanneer echter het fenomenale object wordt beschreven, zullen de eigenschappen die we eraan toeschrijven de toestand ervan als golf of partikel definiëren. Maar het fenomenale object dat we zo hebben beschreven is enkel een welbepaald object van beschrijving binnen de context van het gehele fenomeen van observerend systeem en geobserveerde object. Daarom refereren de klassieke beschrijvende concepten enkel naar eigenschappen van fenomenale objecten en niet naar die van een onafhankelijke fysische realiteit.

Toch onderschrijft ook Bohr de vooronderstelling van wetenschap: dat wetenschappelijke theorieën informatief zijn over de onafhankelijk bestaande fysische realiteit, die de ervaren fenomenen produceert. De vraag hoe we theorieën kunnen hebben die iets zeggen over entiteiten uit het atomaire domein (apart van onze observaties) terwijl we ze niet kunnen ‘representeren’ of ‘voorstellen’ op de klassieke manier verdwijnt als we de volgende vooronderstelling laten vallen: ‘kennis hebben over een object’ betekent in staat zijn om dat object voor te stellen als een substantie met bepaalde eigenschappen.

Ook Folse benadrukt dat complementariteit incompatibel is met de traditionele assumptie dat de realiteit kan worden beschreven in termen van eigenschappen die toegeschreven worden aan substantiële entiteiten. (Folse, 1985, blz. 252) Juist doordat deze vooronderstelling zo sterk is, menen we uit quantummechanica te moeten besluiten dat elke beschrijving van de onafhankelijke realiteit onmogelijk is en we vervallen in de anti-realistische val (Folse, 1985,

blz. 252) Men gaat er immers van uit dat fysica niets meer te maken heeft met de onafhankelijke fysische realiteit en dus kunnen theorieën niet meer realistisch worden geïnterpreteerd. Dit besluit berust volgens Folse op twee onuitgesproken assumpties:

“1) The content of any knowledge about a reality which lies behind experienced phenomena must be communicated as the description of the properties possessed by an independently existing substance. 2) These properties are essentially the same as some of the properties used to describe phenomenal objects, specifically those to which the classical mechanical state parameters refer.” (Folse, 1985, blz. 241)

Volgens Folse maakt deze vorm van klassieke representatie een realistische interpretatie van de quantumfysica onmogelijk. (Folse, 1992, blz. 56)

Het “object” van beschrijving in de natuurkunde, het ‘fysische systeem’ moet anders worden gezien. (Folse, 1985, blz. 252) In de klassieke visie zijn er:

1. de theoretische representatie van de klassieke mechanische toestand van een systeem gedefinieerd in termen van de parameters ruimte, tijd, momentum en energie.
2. het fenomenale object of geobserveerd systeem dat gekarakteriseerd wordt in termen van die observeerbare eigenschappen die een onmiddellijke empirische referentie geven naar termen van de theoretische representatie;
3. een onafhankelijke fysische realiteit, gekarakteriseerd als entiteit die die eigenschappen bezit die beschouwd worden als zijnde de oorzaak van de geobserveerde eigenschappen van het fenomenale object en die op hun beurt overeenstemmen met de termen die de klassieke mechanische toestand definiëren in de theoretische representatie van die toestand.

In complementariteit daarentegen wordt de epistemische inhoud van de theoretische begrip van de natuur opgedeeld in twee types van kennis:

1. de beschrijving van een fenomeen als een observationele interactie, waarin de gehele interactie opgedeeld is in het observerend systeem en het geobserveerde fenomenale object en:
2. de puur formele theoretische structuren die de quantum mechanische toestand van een onafhankelijk object achter de fenomenen symboliseren in termen die het mogelijk maken om de verschillende fenomenale verschijningen te coördineren als verschijningen van éénzelfde object. Vermits deze theoretische structuren enkel

“abstract” zijn en geen referentie hebben tot iets dat direct observeerbaar is in de ervaring, zal de onafhankelijk fysische realiteit achter de fenomenen niet kunnen beschreven worden als bezitters van eigenschappen die overeenstemmen met de eigenschappen die we gebruikten voor de beschrijving van fenomenale objecten. Het gebruik van het formalisme om de toestand van een systeem (geïsoleerd van observaties) te beschrijven is een abstractie en geen model van een onafhankelijke fysische realiteit. (Folse, 1985, blz. 252-253)

Wat is dan nu die onafhankelijke realiteit voor Bohr nog? Folse omschrijft het als volgt:

“This independent reality which Bohr *presupposes* in all of his talk about observation as interaction must be described in terms of its power to structure phenomenal interaction in such a fashion that what is observable is predictable on the basis of theoretical knowledge. Of course, it is essential to empirical knowledge that such predictions can be described in terms which refer to properties of phenomena found in experience, specifically those which provide the empirical reference for the classical descriptive concepts. Thus an independent reality must be characterized as having the power to produce phenomena in interactions such that these phenomena are described by the phenomenal observables to which the classical concepts refer. The description of phenomena as an indivisible interaction requires that, in characterizing the reality behind the phenomena through its activity in originating phenomena, we attribute to this activity an individuality which means that the distinction between observing system and phenomenal object is an arbitrary one made for the purpose of securing an unambiguous description. Since this distinction could have been drawn otherwise, the individuality of the interaction implies that we cannot regard any *phenomenal* object so described as corresponding in its properties of an independently real object. (Folse, 1985, blz. 255-256)

De traditionele substantie-eigenschappen ontologie moet dus worden verlaten of gewijzigd: als we aannemen dat deze ontologie impliceert dat een bepaalde substantie bepaalde eigenschappen bezit die onmiddellijk de geobserveerde fenomenen veroorzaken, dan is complementariteit met dit soort ontologie in tegenspraak. Maar wanneer we substantie definiëren als een onderwerp van predicatie en we definiëren eigenschappen als de krachten die bepaalde fenomenen in specifieke omstandigheden kunnen doen ontstaan, kan complementariteit wel consistent zijn met deze substantie-eigenschappen ontologie.

“The important point is not the terminology but the recognition that what complementarity allows us to say about the reality which lies behind the phenomena is that it has the characteristics of being able to produce different sorts of phenomena in different sorts of interactions, and the way these phenomena are described cannot be used to characterize the reality which causes them. In one sense it would seem that such a characterization would be more adequately expressed by speaking of the powers of an activity instead of the properties of a substance. However, in another sense, properties have always been regarded as powers and substances as things acting upon observers; in this latter sense complementarity is a continuation of substance-property ontology. (Folse, 1985, blz. 256)

3.5. Complementariteit tussen interne en externe beschrijvingen bij Bohr

3.5.1. Interne en externe beschrijvingen

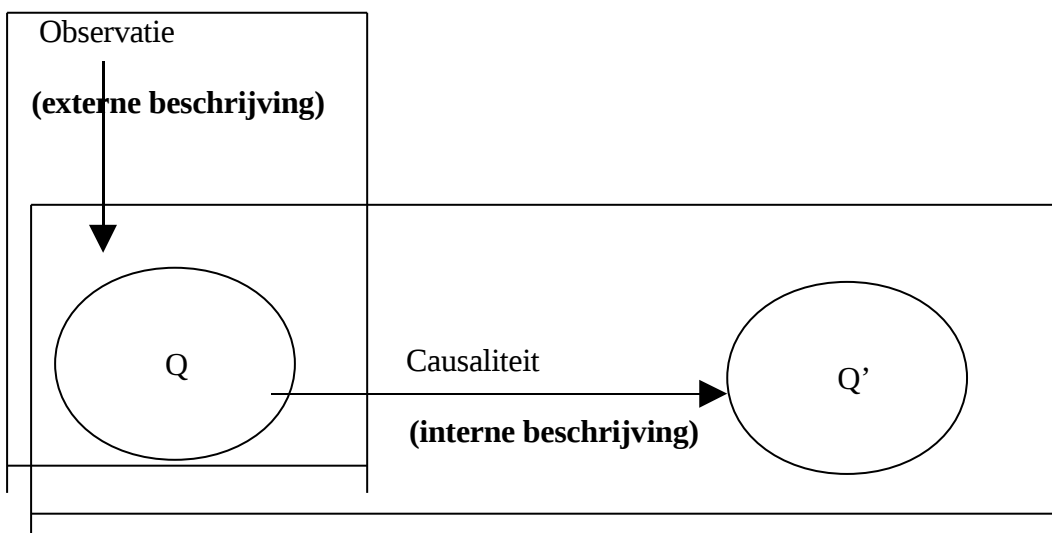
Het atomic object is juist om die reden niet meer voorstelbaar bij Bohr omdat de realiteit zelf het resultaat is van een interne beschrijving. De relaties bepalen de substanties. Waar Einstein dus uitging van ‘substanties met eigenschappen’ (externe beschrijving) legt Bohr veel meer de nadruk de relaties (interne beschrijving) als essentieel gegeven om de realiteit te karakteriseren. Hübner stelt:

“According to one principle, that of Einstein’s, reality consists of substances which have properties, the relations they have to other substances notwithstanding. According to Bohr, however, reality intrinsically is a *relation* between substances, and measurement is a special case of such a relation. For Einstein a measurement *uncovers* a state in itself; for Bohr it constitutes a reality. For Einstein relations are defined by substances; for Bohr substances are defined by relations.” (K. Hubner, geciteerd in Mehra, 1974, blz. 75)

Toch is Bohr ook verplicht om gebruik te maken van interne én externe beschrijvingen.

Bohrs onderscheid tussen de modus van ruimte-tijdbeschrijving en de causale beschrijving komt respectievelijk overeen met de externe en de interne beschrijving. In de interne beschrijving primeert de relatie, de behoudswetten, terwijl de externe beschrijving een

interactie veronderstelt tussen twee systemen. Bohr stelt dat beide beschrijvingswijzen complementair zijn: beide nodig maar wederzijds uitsluitend. Om dus de werkelijkheid te beschrijven hebben we nood aan de interne en de externe beschrijving en ze sluiten elkaar wederzijds uit. Waar de interne beschrijving of causale beschrijving een beschrijving is van een proces van concrecence, waarbij het netwerk van relaties en behoudswetten garantie geven voor het creëren van een eenheid, een tijdelijk systeem, is de externe beschrijving of ruimte-tijdbeschrijving een proces van transitie, waarbij het ene object invloed uitoefent op een ander object. Hetzelfde object is dus enerzijds het resultaat van concrecence (causale beschrijving) en anderzijds het vertrekpunt van transitie (ruimte-tijdbeschrijving). De complementariteit van deze beschrijvingswijzen kan dus ook worden teruggevoerd tot de complementariteit van het object, dat enerzijds kan gezien worden als resultaat van een intern verband en anderzijds als oorsprong van een extern verband.



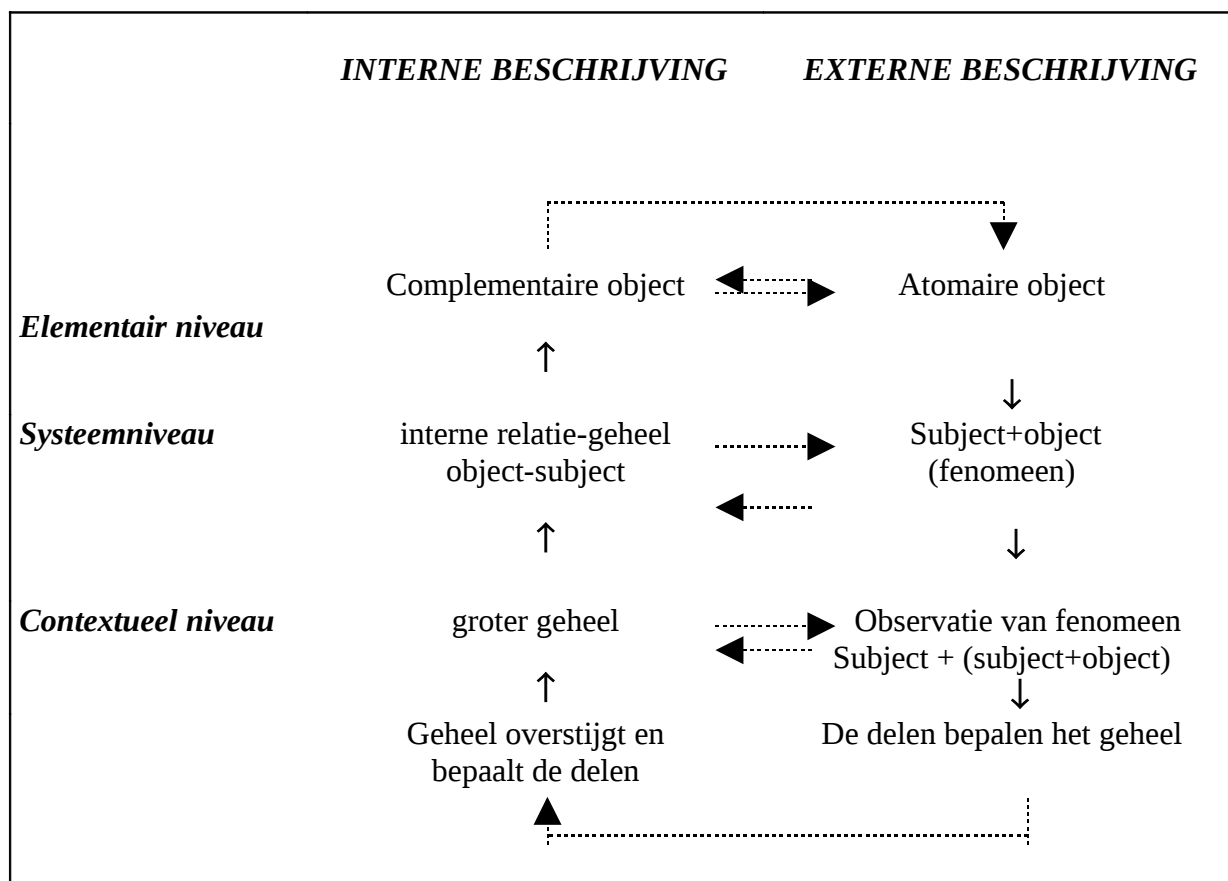
We moeten hier weer duidelijk een onderscheid maken tussen de interne en externe beschrijvingen en de interne en externe relaties. Dit onderscheid verklaart Bohrs verschuiving van de object/subject grens. Immers, als we iets extern of intern *beschrijven* gaan we ervan uit dat het object een externe relatie heeft met het subject. We vertrekken immers van de vooronderstelling dat we ‘objectieve’ kennis willen over het object. Tegelijkertijd blijkt uit de onzekerheidsrelatie dat elke observatie ook steeds een interne relatie bevat.

3.5.2. Bohrs fenomeen

Bohr stelt dat beschrijvende concepten enkel éénduidig zijn wanneer ze verwijzen naar observationele fenomenale objecten. Wanneer we dit vertalen naar externe en interne beschrijvingen, betekent dit het volgende:

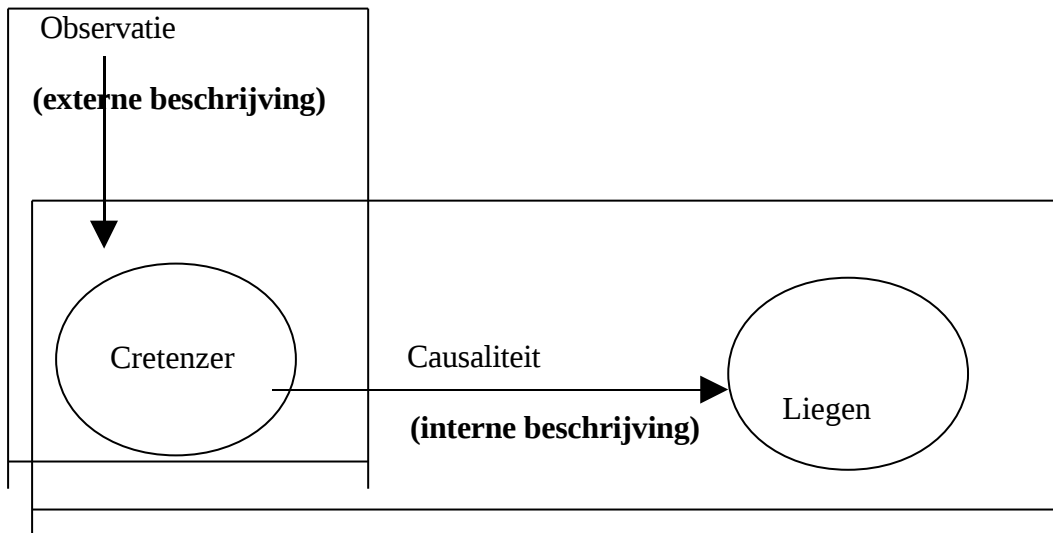
- 1) Een object op zich (zonder waarneming) is ambigue. De verklaring voor deze ambigüiteit wordt duidelijk wanneer we ervan uitgaan dat er in principe geen ‘objecten’ bestaan vanuit de idee van interne relaties, enkel relaties zijn fundamenteel. Op het moment we spreken van een ‘object’, schakelen we automatisch over naar de externe beschrijving. We maken van de oorspronkelijke functie een propositie en de interne relatie is daarmee niet meer geldig.
- 2) Een fenomeen kan als volgt worden geanalyseerd:
 - a. Het waargenomen object is het complementair resultaat van de twee beschrijvingswijzen. (circulaire complementariteit) Willen we bijvoorbeeld iets over ons bospad zeggen, dan moeten we het pad als externe gegevenheid beschouwen, als iets dat bestaat en bepaalde eigenschappen heeft. (ruimte-tijdmodus). Anderzijds kunnen we het bospad causaal omschrijven door na te gaan hoe verschillende parameters in het bos samenhangen (begroeiing, enz.).
 - b. Tussen waargenomen object en het waarnemende subject kunnen we ook een interne en een externe relatie veronderstellen. Enerzijds kunnen we het pad als vertrekpunt nemen om fietsroutes uit te tekenen (externe relatie), anderzijds is er een nauw intern verband tussen ons gedrag in het bos en hoe het bos eruit ziet. Er is een wederzijdse bepaling. Wat wij doen bepaalt de structuur en het leven in het bos en anderzijds bepaalt de structuur van het bos hoe wij erdoor wandelen. Ook hier merken we dat we de scheidingslijn object/subject kunnen verschuiven. Wanneer we het bospad als object beschouwen is de nauwe samenhang tussen onze activiteit om het bospad te vormen daar al in begrepen. Er is dus de splitsing object/subject in de interne relatie (wij als bewandelaars van het platgetreden spoor, die het pad vormen) en de splitsing object/subject in de externe relatie waar we het pad als externe entiteit (resultaat van de interne relatie) gebruiken om er fietspaden mee uit te tekenen.
 - c. Het fenomeen is het geheel dat tevoorschijn komt uit de interne relatie tussen object en subject en als extern geheel beschreven of waargenomen wordt. Net

zoals in de paradox van de leugenaar kunnen hieruit paradoxale eigenschappen tevoorschijn komen.



3.5.3. De paradox van de kennis

Ook hier zien we weer parallellen met de paradox van de leugenaar. ‘Alle Cretenzers liegen’ verwijst naar een intern verband tussen het Cretenzer-zijn en de eigenschap liegen en is vergelijkbaar met de complementariteit, die we vinden in de onzekerheidsrelatie. Het doen van een uitspraak door de Cretenzer kunnen we vergelijken met de waarneming. Of de Cretenzer een ware of valse uitspraak doet, staat dan gelijk met de meting van de positie of het momentum. De uitspraak van de Cretenzer kan ook gezien worden als het resultaat van een interne en een externe *beschrijving*. Enerzijds kan de interne relatie worden opgevat als een soort ‘behoudswet’ (causale modus), die bepaalt dat Cretenzer zijn en liegen altijd samengaan. Anderzijds doen we een externe uitspraak wanneer we ervan uitgaan dat de uitspraak verwijst naar een observatie of een conjunctie van observaties: ‘elke Cretenzer liegt’ (ruimte-tijdmodus).



De uitspraak dat ‘alle Cretenzers liegen’ is niet problematisch zolang er geen zelfreferentie is. Wanneer er wel zelfreferentie is, zien we dat de externe beschrijving de interne relatie verandert.

We kunnen nu Bohrs fenomeen vertalen in de paradox. De uitspraak van de Cretenzer dat ‘Alle Cretenzers leugenaars zijn’ vertalen we dan in de meting van een object door een waarnemer. In de bespreking van de paradox hebben we gezien dat deze uitspraak van de Cretenzer ambigu wordt als we ons afvragen of ze juist is. Als we de Cretenzer als onderdeel van het geheel beschouwden was hij een leugenaar (interne relatie tussen waarnemer en object). De Cretenzer is echter ook diegene die de uitspraak doet en daardoor is zijn uitspraak een externe relatie, die de interne relatie wijzigt. Net zoals bij het fenomeen van Bohr moeten we een onderscheid maken tussen het object op zich (de Cretenzer) en het fenomeen (het geheel waarvan de Cretenzer een onderdeel is). Het liegen van de Cretenzer op zich mag niet verward worden met het liegen van de Cretenzer, die voorwerp uitmaakt van het fenomenaal geheel. Bohrs stelling dat we het fenomeen niet mogen verwarren met het object is dus eigenlijk hetzelfde als Tarskis uitspraak dat de verschillende taalniveaus niet mogen worden verward. Bohr stelt dat we de verschillende niveaus van objectiviteit moeten uit elkaar houden. De object/subject splitsing kan variëren. Het subject dat mee deel uitmaakt van het fenomeen is een ander subject dan het subject dat er geen deel van uitmaakt.

De Cretenzer die de uitspraak doet dat ‘Alle Cretenzers liegen’ moet deze uitspraak doen vanuit het standpunt alsof hij een objectieve buitenstaander is, die iets over zijn landgenoten

zegt. Hij geeft dan een externe beschrijving. Zelf Cretenzer zijnde maakt hij echter mee deel uit van de interne relatie. Zijn bewering heeft alleen zin als hij zichzelf dissociëert van het Cretenzer zijn. Of nog anders: de uitspraak over het object heeft alleen zin als we ook het statuut van de observator in acht nemen. Vermits de waarnemer met het object een interne relatie heeft (hij is zelf ook Cretenzer), kunnen we het fenomeen niet meer analyseren omdat we hiermee de interne relatie zelf wijzigen. (dissociatie van de Cretenzer als Cretenzer)

4. Bohms impliciete orde

4.1. *Inleiding*

Bohms causale interpretatie geeft een gedetailleerde beschrijving van wat er in feite plaatsvindt tijdens quantumprocessen. De theorie omvat nieuwe veronderstellingen over de natuur van de materie. De numerieke resultaten van zijn theorie zijn identiek met die van de conventionele quantummechanica, maar Bohms benadering is totaal verschillend van enige andere interpretatie. Zo accepteert hij de golf/deeltjes dualiteit van het electron niet, noch het feit dat quantumgebeurtenissen indeterministisch zouden zijn. (Peat, 1991, blz. 109) In Bohms theorie is een elementair deeltje een deeltje dat geen golf/deeltjes aard heeft, maar een deeltje met een aanzienlijke interne complexiteit.

4.2. *De causale interpretatie*

Naast de normale elektromagnetische kracht die op het elementaire deeltje werkt als resultaat van zijn elektrische lading (en de zwakke en sterke nucleaire krachten), postuleert de theorie van Bohm een nieuw *quantumpotentiaal*. Dit quantumpotentiaal heeft een aantal totaal nieuwe eigenschappen, die niet samenhangen met wat in 't algemeen wordt aanvaard als de essentiële structuur van de klassieke fysica. Zo verandert het quantumpotentiaal niet wanneer het veld Ψ vermenigvuldigd wordt met een arbitraire constante. Dit betekent dat het effect van het quantumpotentiaal onafhankelijk is van de sterkte of intensiteit van het quantumveld maar enkel afhankelijk is van haar vorm. Bohm vergelijkt dit met de beweging van een schip op automatische piloot dat geleid wordt door radiogolven. Ook hier is het effect van de radiogolven onafhankelijk van de intensiteit maar wel afhankelijk van de vorm. Het essentiële punt is dat het schip beweegt op zijn eigen energie, en de vorm van de radiogolven wordt gebruikt om het schip te besturen. De quantumpotentiaal werkt dus als een radarsignaal dat ontvangen wordt door een schip op zee. De energie in dit signaal is vergeleken met de energie die het schip aandrijft te verwaarlozen, maar toch heeft de *informatie* in het signaal, over havens, mist, ijsbergen en andere schepen, een vormgevend effect op de route van het schip. Op soortgelijke wijze draagt het quantumpotentiaal informatie met zich mee over de omgeving van het quantumdeeltje (bijvoorbeeld over spleten in het interferentie-experiment (Bohm en Hiley, 1993, blz. 32-33) en beïnvloedt aldus door

informatie diens beweging. Hiermee introduceert Bohm een nieuw concept: “actieve informatie”. Kenmerkend voor actieve informatie is dat een vorm met weinig energie een veel grotere energievorm binnendringt en bestuurt. Peat vergelijkt het effect van het quantumpotentiaal met iemand die “brand!” roept in een bioscoop. Of de persoon roept of fluistert, het effect is hetzelfde: iedereen zal zo vlug mogelijk naar buiten willen. Wat belangrijk is, is niet de intensiteit maar wel de “informatie” of de vorm die wordt meegegeven, in dit geval dat de bioscoop in brand staat. (Peat, 1991, blz. 110) Cruciaal is ook dat Bohm de nadruk legt op de letterlijke betekenis van het woord: “in-formeren”, actief vorm in iets brengen of iets vervullen van vorm (Bohm en Hiley, 1993, blz. 35) Het quantumveld duwt of trekt het partikel dus niet op een mechanische manier, net zo min als het radiosignaal het schip zou duwen of trekken, maar verschaft het enkel informatie over de omgeving zodat het partikel geleid wordt in zijn beweging. Bohm en Hiley hebben hun nieuwe causale interpretatie toegepast op een aantal experimenten en waren in staat om dezelfde geobserveerde resultaten te voorspellen. Zo verklaren ze bijvoorbeeld het tweespletenexperiment als volgt: het quantumpartikel beweegt deterministisch volgens een welbepaald pad, waarvan de details bepaald zijn door het quantumpotentiaal. Dit potentiaal heeft informatie over de gehele experimentele situatie, inclusief de positie van de twee spleten en of ze al dan niet gesloten zijn. Zelfs als het elektron ver verwijderd is van één van de spleten, wordt de informatie van de hele experimentele situatie actief gedragen door het quantumpotentiaal. Terwijl het elektron dus door één spleet gaat, wordt het geleid door een informatiepool die kennis over de tweede spleet bevat. (Peat, 1991, blz. 111)

De energie om het werk te doen ontstaat dus niet in het quantumveld, maar heeft een andere bron. Het partikel beweegt namelijk vanuit zijn eigen energie en geleid door het quantumveld. Het elektron of gelijk welk elementair partikel heeft daarom een complexe innerlijke structuur. Dit druist regelrecht in tegen de traditie van de moderne fysica, waarin wordt verondersteld dat wanneer we steeds kleinere deeltjes analyseren, we gedrag vinden dat steeds meer elementair wordt. (Bohm en Hiley, 1993, blz. 37) In Bohms visie daarentegen is het elementair deeltje oneindig complex omdat het in wezen de uitdrukking is van het hele heelal. Bohm suggereert dat de materie ordes bezit die dichterbij die van de geest liggen dan bij een eenvoudige mechanische orde. Informatie krijgt een actieve, vormgevende rol, zodat een individueel deeltje via het quantumpotentiaal met het hele heelal verbonden is.

4.3. *De impliciete orde*

In de quantumveld-versie van de causale interpretatie wordt een elementair deeltje gezien als de manifestatie van een onderliggend quantumveld. We kunnen het vergelijken met het ontstaan van een grote golf water uit de totale beweging van de oceaan. (Peat, 1988, blz. 148) Het deeltje representeert daarom het ‘invouwen’ van een veld in een gelokaliseerd gebied, en zo is de vernietiging van het deeltje weer de ‘ontplooiing’ van het veld. Op deze manier kunnen de complexe reacties van elementaire deeltjes worden voorgesteld als het ‘ontplooien’ en zich weer ‘invouwen’ binnen een dynamische grondslag. Bohm heeft gesuggereerd dat deze impliciete orde, met zijn noties van ‘invouwen’ en ‘ontplooien’, karakteristiek zijn voor de hele realiteit. De impliciete orde gaat inderdaad verder dan de veronderstellingen en details van de causale verklaring. Zij beschrijft niet alleen de innerlijke structuur van de materie, maar ook die van de geest en de maatschappij. (Peat, 1988, blz. 149)

Bohm geeft enkele voorbeelden van impliciete en expliciete orde (Bohm, 1983, blz. 149): zo is het visueel beeld dat wordt verzonden tijdens een televisieuitzending impliciet aanwezig in het signaal. De functie van de ontvanger is om deze impliciete ordening expliciet te maken, te ontvouwen in de vorm van een nieuw visueel beeld. Een ander voorbeeld kan worden gedemonstreerd in het laboratorium. We gebruiken een doorzichtige container met een stroperige vloeistof en een mechanisme dat de vloeistof traag maar grondig kan doen ronddraaien. Als hierin een onoplosbare druppel inkt wordt geplaatst en de vloeistof in beweging wordt gezet, dan zal de druppel zich stilaan over de hele vloeistof verdelen. Als de beweging nu echter in omgekeerde richting wordt gedaan, dan is de transformatie omgekeerd en zal de inktdruppel plotseling terug verschijnen. Ten slotte gebruikt Bohm het hologram als voorbeeld. In de normale fotografie wordt licht van ieder deel van het object gefocust op een overeenkomstig deel van de fotografische plaat. Op deze manier heeft de vorm van het beeld een expliciete overeenkomst met de vorm van het object, zodat ieder onderdeel van de foto informatie bevat over slechts één klein onderdeel van het object. In de holografie daarentegen wordt licht van elk deel van het object over het geheel van de fotografische plaat verspreid. Op deze manier bevat elk klein onderdeel van de foto informatie over het gehele object. In het hologram is daarom de relatie tussen het object en de fotografische plaat een relatie tussen iets expliciets en iets impliciets. Het beeld wordt gereconstrueerd door deze informatie over de impliciete orde te ‘ontplooien’. (Peat, 1988, blz. 150-151)

De alledaagse wereld van vaste lichamen die ondubbelzinnig hun plaats hebben in de ruimte en in een periode van de lineaire tijd, komt overeen met wat genoemd zou worden de *expliciete* of de ‘ontplooide’ orde. Maar deze expliciete orde kan nu gezien worden als een manifestatie van een ‘ontplooing’ vanuit een diepere impliciete orde. Een analogie kan dienst doen om dit punt te illustreren. De fontein in het midden van een Italiaans plein behoudt zijn vorm dank zij het water van de golf die er doorheen stroomt. Op deze manier is de expliciete vorm een uitdrukking van de constante stroom van ‘ontplooien’ en zich weer ‘invouwen’. Op soortgelijke manier is de werveling in een rivier de uitdrukking van de totale stroom van al het water, en zijn structuur wordt voortdurend ondersteund door de dynamiek van de rivier als geheel. In diepere zin zijn de ordes van materie, ruimte en tijd expliciete manifestaties van de onderliggende impliciete orde. (Peat, 1988, blz. 149)

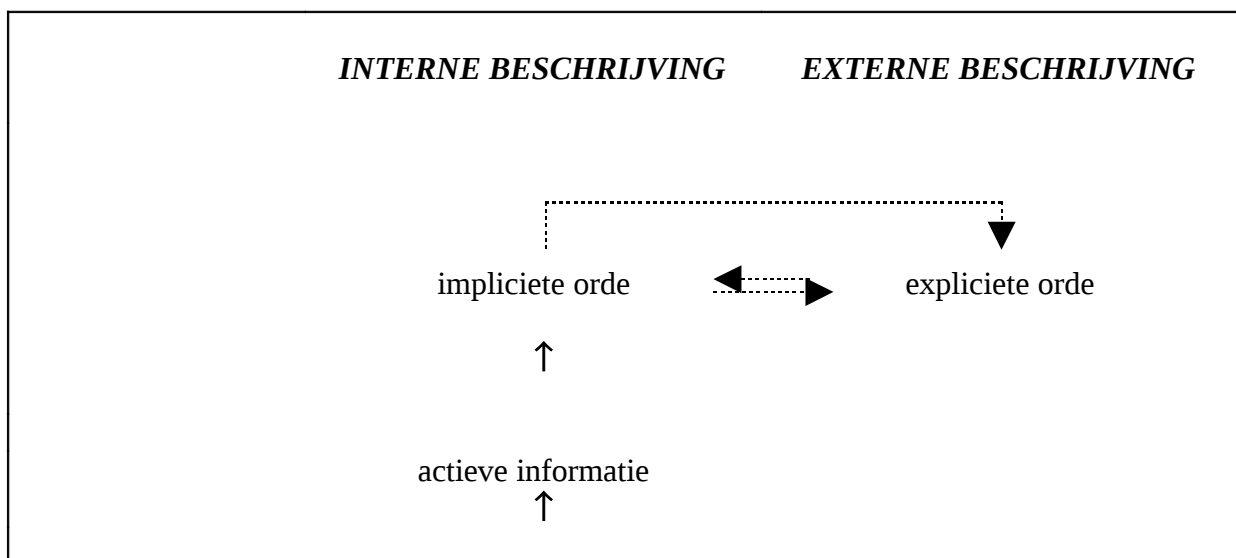
4.4. *Interne en externe beschrijvingen*

Substantie of het “ding” in de betekenis van iets dat op een gegeven plaats en tijd verschijnt behoort tot de expliciete orde. Het “ding” is dan een manifestatie, een abstractie en projectie van dat wat zelf geen ding is, van de ‘impliciete orde’. (Carvallo, 1992 blz. 329). Kenmerkend voor de expliciete orde, of de wereld van alledag is dat ze bestaat uit relatief stabiele en locale structuren. Alles bestaat uit structuren die extern zijn aan elkaar en enkel lokaal met elkaar in interactie gaan. Dit is de newtoniaanse wereld, die gebaseerd is op locale krachten, en op cartesische noties van tijd en ruimte. De onderliggende quantumwereld ziet er echter totaal anders uit. De krachten tussen partikels hangen er af van de vorm en niet van de grootte. Dit impliceert de mogelijkheid van sterke niet-lokale beïnvloeding. en een sterke afhankelijkheid van het partikel van zijn totale omgevingscontext. Elk partikel participeert in alle andere. Deze afwezigheid van wederzijdse externaliteit en onderscheidbaarheid van alle elementen, maakt deze wereld ongrijpbaar voor onze instrumenten. Nochtans is deze quantumwereld de ultieme grond van de expliciete orde. Volgens Bohm is er geen breekpunt tussen de twee werelden. De quantumwereld bevat de klassieke ‘subwereld’ die geleidelijk verschijnt. Hierbij is het meetproces een manifestatieproces. We ‘meten’ dus geen toestand die al vooraf bestond. (Bohm en Hiley, 1993, blz. 176-180).

“Our proposal to start with the implicate order as basic, then, means that what is primary, independently existent, and universal has to be expressed in terms of the implicate order. So we are suggesting that it is the implicate order that is autonomously active while, as indicated earlier, the explicate order flows out of a law

of the implicate order, so that it is secondary, derivative, and appropriate only in certain limited contexts. Or, to put it another way, the relationships constituting the fundamental law are between the enfolded structures that interweave and interpenetrate each other, throughout the whole of space, rather than between the abstracted and separated forms that are manifest to the senses (and to our instruments)". (Bohm, 1983, blz. 185)

De impliciete orde is algemeen en noodzakelijk, terwijl de expliciete orden particuliere en contingente gevallen (cases) hiervan zijn. (Bohm en Hiley, 1993, blz. 361) Dit komt ook overeen met het onderscheid tussen interne en externe beschrijving. De impliciete orde vertegenwoordigt de interne beschrijving, waarin de relaties belangrijk zijn en het algemene noodzakelijke vertaald is in een functie. De expliciete orde vertegenwoordigt de externe beschrijving, die als afgeleide van de interne beschrijving de particuliere en contingente 'entiteiten' beschrijft. De functie is er omgezet in een propositie.



Ook Bohm benadrukt verder dat de fragmentatie in de wetenschap worden ondersteund door ons dagelijks taalgebruik. Een belangrijk gegeven is de subject-werkwoord-object structuur van zinnen. Deze structuur impliceert dat alle actie ontstaat in een afzonderlijke entiteit, het subject en dat de actie de ruimte kruist naar een andere afzonderlijke entiteit, het object. 'Een observator kijkt naar een object' betekent bijvoorbeeld iets totaal anders dan wanneer we zouden zeggen: 'er is observatie aan de gang'. De nadruk ligt hier op de actie, waardoor er geen scherpe onderscheidingen meer zijn, maar een stroom in elkaar. Bohm stelt voor een nieuwe taalmodus, de 'rheomode' te hanteren, waarin de beweging primair is. In deze

rheomode betekenen de substantieven geen afzonderlijke objecten, maar veeleer blijvende toestanden (continuing states) van activiteit van een specifieke vorm bepaald door de werkwoorden. (Bohm, 1983, blz. 28-41)

4.5. *Interne en externe relaties*

Bohms standpunt ten aanzien van interne en externe relaties is de volgende. Hij verwerpt het idee dat er enkel externe relaties tussen de dingen zouden zijn. De notie 'interactie' moet worden vermeden omdat het localiteit, afscheidbaarheid en externaliteit suggereert: dingen worden dan gezien als gesloten systemen, onafhankelijk van elkaar in eerste instantie en pas in tweede instantie komt de relatie met elkaar. Op deze manier opgevat zouden de relaties extern zijn, dwz niet bepalend of intern tot één van hen. Bohm gaat ervan uit dat alle "dingen" intern met elkaar in verband staan. Verder zijn al deze relaties symmetrisch. Al deze interne, symmetrische relaties zijn georganiseerd door het onderliggende geheel. Of anders gezegd: alle "dingen" ontstaan uit hun gemeenschappelijke grond, die immanent is in elk van hen en op die manier is elk indirect immanent in de andere. (Carvallo, 1992, blz. 336-337) Daarom zijn quantumeigenschappen geen eigenschappen van het geobserveerde systeem alleen; ze hebben pas betekenis vanuit de totale context die relevant is voor een bepaalde situatie. De basiseigenschappen van de partikels kunnen aanzien worden als intrinsieke eigenschappen, ongeacht de sterkte van de interactie. De in de quantumtheorie gemeten eigenschappen daarentegen hebben enkel betekenis binnen de totale context. de gemeten eigenschappen zijn niet intrinsiek maar onafscheidelijk gerelateerd aan het apparaat. In Bohms interpretatie is enkel positie een intrinsieke eigenschap omdat ze gedefiniëerd is onafhankelijk van de golf functie. (Bohm en Hiley, 1993, blz. 106-114)

4.6. *Actieve informatie*

Met het begrip 'actieve informatie' voert Bohm een ander soort causaliteit in dan die van Newton en de klassieke fysica. Als de eerste violen en de cello's in een orkest tegelijkertijd hun strijkstokken langs de snaren bewegen, dan komt dat niet doordat er een wisselwerking van krachten tussen hen plaatsvindt. De oorsprong van deze beweging moet gevonden worden in de partituur. De bewegingen van orkestleden en de bewegingen van balletdansers op het podium vloeien voort uit dezelfde basis - de muziek zelf - en zijn werkelijk zinvolle conjuncties van uiterlijke gebeurtenissen. Zelfs binnen het 'mechanische universum' van bewegende deeltjes is het mogelijk gebeurtenissen te beschrijven als het resultaat van

‘ontplooiingen’ vanuit een onderliggende laag. (Peat, 1988, blz. 52) We mogen verder Bohms ‘actieve informatie’ niet verwarren met passieve informatie. Deze laatste is slechts een limiet in de zin we bij passieve informatie abstractie maken van de activiteit van het ‘infor-meren’ of ‘ actief vorm aan geven aan iets ’.

Met behulp van het concept van actieve informatie verklaart Bohm het principe van complementariteit van Bohr. Tijdens de meting is er een combinatie van golf functies. Tijdens deze periode zijn de twee systemen geleid door een gezamenlijke informatiepool, door een quantumpotentiaal dat hen in een niet-locale manier verbindt. Op dat moment meten we geen toestand die al bestond. Het is eerder zo dat het apparaat en het geobserveerde systeem in elkaar participeren en elkaar beïnvloeden. Na de interactie zijn de twee gecorreleerd. Wanneer we de oriëntatie van het apparaat veranderen, verandert ook het quantumpotentiaal. (Bohm en Hiley, 1993, blz. 106)

Bohm schrijft ook nog een interessante passage over het Contradictieprincipe: In “Wholeness and implicate orde” (1983, blz. 56-62). Hij beschrijft er de verhouding tussen denken en niet denken (T en NT) . Het onderscheid tussen wat er enkel in onze gedachten is en wat er reëel is, is essentieel als vertrekpunt. Denken en niet-denken zijn dus verschillend en wederzijds uitsluitbaar (T is niet NT). Het niet-denken associeert Bohm hier dus met de realiteit in de zin van de “dingen”. Anderzijds ziet Bohm het denken als een materieel proces met als inhoud de totale response van het geheugen, de spierreacties en fysische reacties. Alle gemaakte zaken uit onze omgeving zijn op die manier uitbreidingen van dit gedachteproces. Zo kunnen we dan ook zeggen dat het denken gelijk is aan niet-denken (T is NT):

“Through the consideration of the physical nature of the response of memory in reactions of nerves, feelings, muscular motions etc., and through the consideration of the merging of these responses with the general environment in the overall cyclical process described above, we see then that thought *is* non-thought (T *is* NT) (Bohm, 1983, blz. 59)

We krijgen nu enerzijds: T is niet NT en anderzijds T is NT. Opdat dit geen absolute zelfcontradictie zou zijn, besluit Bohm dat T en NT niet de namen zijn van dingen. We kunnen deze gedachtengang zien als een toepassing van de complementariteit van de externe en de interne beschrijving. Als Bohm zegt dat T gelijk is aan NT, vertrekt hij van een interne beschrijving: wat gedacht wordt en de omgeving waarin die gedachten plaatsvinden zijn uitbreidingen van elkaar en bepalen elkaar wederzijds. Wanneer hij echter zegt dat T niet

gelijk is aan NT, vertrekt hij van een externe beschrijving. Hij beschouwt dan ‘onze gedachten’ en ‘de realiteit die gedacht wordt’ als externe ‘dingen’. Zijn besluit, dat T en NT geen namen van dingen zijn, vertalen we dan door te zeggen dat we T en NT wel als zodanig kunnen beschrijven (extern), maar dat we ook aandacht moeten hebben voor de interne beschrijving, waarin T en NT gevormd worden door de relatie.

4.7. *Kennis*

Voor Bohm is kennis een beweging of een proces met een objectieve en een subjectieve kant:

“What is needed more generally is to emphasise that knowledge is primarily a movement or a process, with two sides, objective and subjective. Any content that was on the one side will be found , in the next stage, on the other. While the two sides can be treated as separate for limited purposes, they both point to or indicate one and the same total reality. Thus, even with a simple material object, no single view can be identified with the whole of “what the object is”. Rather, this latter is only implicit, and does not appear directly in any view at all. Similarly, the total object of our knowledge is also only implicit, and cannot be contained in either the subjective or the objective view. (Bohm, 1974, blz. 130)

Voor Bohm is het onderscheid tussen objectiviteit en subjectiviteit dus verwarrend. Volgens hem is er geen scherp onderscheid tussen beide:

“(...) much of the confusion (...) arises from the attempt to divide subjectivity and objectivity neatly into two separate and distinct categories, which are completely opposite and mutually exclusive. Or to put it more precisely, it is implied that everything is either subjective or objective and that this dichotomy covers all possibilities. However, as has been seen, the “objective world” is not completely separate from the subject, who through practical action guided by thought can participate in it and in certain ways, at least, change it to fit his notions as to what is necessary or desirable. When such action has taken place, the “objective world” is already different from what it was, so that it requires new observation and thought on the part of the subject, leading to new knowledge for him.

Of course, in many cases, this change may be neglected, and we may then regard the “objective world” as fixed more or less according to our earlier knowledge of it. But in broad and deep contexts, especially those which include society and the goals,

aspirations, ethical principles, etc., of the individual, the change in objective reality produced by new knowledge can no longer be neglected. This can be put in another way by saying that the subject (which in principle include the whole of society) can to some extent be treated as the object of knowledge. Thus, the sharp division of subject and object has broken down. The subject participates in an essential way in the object, and in fact is an essential part, side or aspect of the object. In other words, the subject has to be seen both as a cause and as an effect, within the total object of consciousness.” (Bohm in Lewis, 1974, blz. 129-130)

Ook voor Bohm is *kennis* en *zijn* is nauw verbonden:

“The universe is constantly defining itself and measurement is only a special case of this.” (Bohm en Hiley, 1993, blz 78)

5. Complementariteit en taal

Volgens Löfgren (1992,) kan elke vorm van complementariteit teruggevoerd worden tot de eraan ten grondslag liggende “linguïstische complementariteit”. Hij gaat ervan uit dat complementariteit refereert naar situaties waar fragmentatie niet succesvol kan gebeuren.

5.1. *Complementariteit en fragmentatie*

Löfgren vertrekt van de vaststelling dat elke beschrijving een beschrijving is van iets en nooit van alles. Hij citeert Chew:

“A key discovery of Western culture has been the discovery that different aspects of nature can be individually ‘understood’ in an approximate sense without everything being understood at once. All phenomena ultimately are interconnected, so an attempt to understand only a part necessarily leads to some error, but the error is sufficiently small for the partial approach to be meaningful. Save for this remarkable and far from obvious property of nature, scientific progress would be impossible.” (Löfgren, 1992, blz. 114)

Hoewel fragmentatie dus noodzakelijk en nuttig was voor de wetenschappelijke vooruitgang, blijven er situaties waar deze manier van werken niet zinnig is namelijk. in holistische situaties, die niet volledig beschrijfbaar zijn. Hier komt het concept complementariteit om de hoek kijken. Löfgren argumenteert echter dat al deze verschillende situaties, waarin complementariteit, hetzij in een ontologische, epistemologische of beschrijvende vorm belangrijk is, kan worden gereduceerd tot een algemeen type van complementariteit namelijk de linguïstische complementariteit.

5.2. *Linguïstische complementariteit*

Het principe van linguïstische complementariteit impliceert dat een taal nooit haar eigen interpretatieproces kan beschrijven. In sommige gevallen bestaat er een metataal die zo’n beschrijving kan verschaffen, maar het interpretatieproces van deze metataal veronderstelt dan zelf weer een ander niveau van beschrijving, wat uiteindelijk leidt tot een oneindige beweging. Of in de woorden van Löfgren:

“(...) the descriptions and interpretations, which constitute a language, are “complementary parts” of the language, i.e., parts that are not visible in the language itself in the sense that they cannot be fully described as such parts there - only in a metalanguage provided one such exists.” (Löfgren, 1992, blz. 115)

Wanneer Löfgren het begrip “taal” hanteert dan heeft hij het niet over de dagelijkse betekenis als een set van zinnen en beschrijvingen met grammatica en syntaxis, maar een holistisch concept van taal namelijk als een fenomeen van zinnen *met* hun betekenis. Een beschrijving is hierin dan geen beschrijving als er geen interpretatie mee geassocieerd is. Met een “beschrijving” bedoelt Löfgren de constructie van een gepaste symbolische representatie voor een bepaald fenomeen. Met een “interpretatie” bedoelt hij de constructie van corresponderende fenomenen, gebaseerd op de symbolische beschrijving (bijvoorbeeld de ontwikkeling van een fenotype op basis van de genetische beschrijving) of ook de controle van de waarheid van een symbolische beschrijving door ze te relateren aan het fenomeen dat het verondersteld is te beschrijven (bijvoorbeeld: het observatieproces in quantummechanica). Beschrijvingen zijn dus per definitie statisch en representeerbaar terwijl interpretaties oneindig en dynamisch zijn. Vandaar dat Löfgren linguïstische complementariteit ook opvat als een spanning tussen beschrijfbaarheid en interpreteerbaarheid in een taal. Naarmate we immers iets nauwkeuriger beschrijven, worden de mogelijkheden tot interpretatie beperkter en omgekeerd.

Heylighen vat Löfgrens visie op taal als volgt samen:

“A language in this view is conceived as a description process, representing potentially infinite and dynamic ideas by finite and static strings of symbols, together with an interpretation process, going in the opposite direction, and deriving the meaning or interpretation of the symbolic descriptions.” (Heylighen, 1992, p 99)

Löfgren hanteert dus een procesconcept van taal namelijk taal als een beschrijving-interpretatie proces. Daarentegen ging de klassieke visie op taal uit van een referentierelatie tussen vooropgezette sets van beschrijvingen en interpretaties. Volgens deze visie hebben we kennis van een taal wanneer we kennis hebben van de referentierelatie met haar domein en bereik (range). Daarentegen, zullen we in de procesvisie van taal enkel kennis ervan krijgen door de generatieve structuren. Hier zijn dus het domein en bereik van de referentierelatie bepaald door de structuur, waar ze in de klassieke opvatting primair waren.

5.3. *Vertaling*

Löfgren argumenteert dat het zelfreferentieprobleem van meting in de quantummechanica kan vertaald worden in termen van linguïstische complementariteit. Hoe reduceert Löfgren nu Bohrs complementariteit tot linguïstische complementariteit. Bohrs eerste visie op complementariteit, namelijk als een relatie tussen definiëerbaarheid en observeerbaarheid (meetbaarheid) kan gereduceerd worden tot de linguïstische complementariteit als de relatie tussen beschrijfbaarheid en interpreteerbaarheid. Beschrijfbaarheid is dan een speciaal geval van beschrijfbaarheid en observeerbaarheid (meetbaarheid) is een speciaal geval van interpreteerbaarheid. Dit laatste legt hij uit als volgt: zinnen worden geïnterpreteerd door middel van regels (geformuleerd in de metataal) voor hun waarheidsconditie. Dus, in een fysische context met waarheidscondities in termen van meting kunnen we een interpretatieproces identificeren met een meetproces of een proces van observatie door middel van meting. (Löfgren, 1992, blz. 145). Wat betreft Bohrs visie van complementariteit in termen van fenomenen verwijst Löfgren naar de analyse van Lindenberg en Oppenheim (Löfgren, 1992, blz. 146:) Zij stellen dat een complementaire oplossing gerechtvaardigd is in situaties waar een onoplosbaar intra-domeinprobleem bestaat en waar een inter-domein oplossing kan gevonden worden. Een intra-domein probleem in de quantummechanica is dan de oncontroleerbare interactie tussen een elektron op zich en de experimentele setting om het elektron te onderzoeken. Dit dilemma kan worden opgelost door een interdomein te beschouwen van klassieke en quantumconcepten: de klassieke fysische eigenschappen (golf, deeltje) worden dan niet meer toegepast op entiteiten zoals een elektron op zich, maar op het fenomeen, het elektron met de experimentele setting inbegrepen. Löfgren vertaalt dit als volgt: het intra-domein probleem is het probleem van beschrijving van taal in zijn domein, of in zichzelf. Dat dit onoplosbaar is, weten we al vanuit de onmogelijkheid om een interpretatieproces te beschrijven binnen de taal zelf. De complementaire oplossing is om een taal te beschouwen als een ondeelbaar geheel van beschrijvingen *met* interpretatie.

5.4. *Interne en externe beschrijvingen*

Wanneer we het proces van beschrijving bekijken, merken we dat er uit de veelheid een eenheid tevoorschijn komt. We vertrekken van ‘oneindige en dynamische ideeën’ en stellen ze voor door statische gehelen van symbolen. Dit is wat ik de interne beschrijving noemde, waarbij uit een veelheid van relaties een eenheid tot stand komt. Het proces van interpretatie

daarentegen vertrekt van de beschrijvingen als statische gegevens en genereert 'interpretaties', dat wil zeggen, verbindt deze gegevens met andere gegevens tot een groter geheel.

Voor zover ik Löfgrens theorie begrijp, schijnt hij te bedoelen dat interpretatie en beschrijving samenhangen op volgende manier. Naarmate we een begrip beter beschrijven, dat wil zeggen meer onderscheidingen gebruiken, worden de interpretatiemogelijkheden kleiner en omgekeerd: naarmate we meer interpretatie toelaten, wordt de beschrijving vager.

Vermits Löfgren de complementariteit van taal ziet als een veralgemening van Bohrs complementariteit, zou de theorie van Löfgren ook moeten kunnen vertaald worden in termen van interne en externe beschrijvingen. Ook de paradox van kennis zou hieruit moeten kunnen worden afgeleid. Helaas ben ik er (nog) niet in geslaagd om deze vertaling te maken.

DEEL 3. BESLUIT EN TOEPASSINGEN

6. Besluiten

6.1. *Externe en interne beschrijvingen*

Een externe beschrijving vertrekt vanuit substantiële entiteiten. Relaties zijn hierbij secundair. De relaties die we in de externe beschrijving gebruiken, noemen we de externe relatie. Een interne beschrijving vertrekt vanuit de relatie. Substantiële entiteiten zijn secundair. De relatie die we in een interne beschrijving gebruiken, noemen we de interne relatie.

Vanuit de interne beschrijvingen kunnen we uit een netwerk van relaties een geheel herkennen. Dat geheel kunnen we weer gebruiken als uitgangspunt voor de externe beschrijving.

Uit het overzicht van de wetenschap is gebleken dat telkens de twee beschrijvingen gebruikt worden:

1. Systeemtheorie

Naarmate we de nadruk leggen op een systeem als geheel met bepaalde eigenschappen, maken we een externe beschrijving. Voorbeelden van zo'n systemen zijn een voetbalclub, een gezin, een bedrijf... Telkens merken we dat zo'n systemen kunnen functioneren als quasi-autonome gehelen. Naarmate we eerder uitgaan van de constituerende relatie tussen de onderdelen, die een systeem bepaalt, maken we gebruik van een interne beschrijving. Voorbeelden hiervan zijn systemen die omschreven worden als toestandsbehoudend, doelgericht,... We zien hierin telkens dat de onderdelen van een systeem een bepaalde relatie in stand houden en dat de relatie wederzijds bepalend is voor de identiteit van de elementen.

2. Prigogine

Wanneer we een beschrijving geven in termen van paden, beschouwen we elk partikel afzonderlijk als een zelfstandig geheel. Het totaal is de som van het pad van elk individueel partikel. Dit is een externe beschrijving. Bij een beschrijving van ensembles gaan we na hoe het gedrag van de deeltjes in hun samenhang als geheel wordt bepaald door een relatie. Naarmate we dus gebruik maken van waarschijnlijkheidswetten om het gedrag van de deeltjes in de totstandkoming van het ensemble te beschrijven maken we gebruik van de interne

beschrijving. (Let op: eens we het ensemble zelf als een zelfstandig geheel zien schakelen we weer over naar de externe beschrijving).

3. Bohr

Bij Bohr vinden we de externe beschrijving vertaald als de beschrijving in de ruimte-tijdmodus en de interne beschrijving in causaliteit. In de ruimte-tijdmodus wordt immers de toestand van een bepaald systeem bepaald. Het systeem wordt dan gekarakteriseerd als een geheel met bepaalde eigenschappen (bijvoorbeeld de plaatsbepaling ervan op een bepaald moment). Bij de causaliteitsmodus leggen we echter de nadruk op de relatie. Het zijn namelijk de behoudswetten die het mogelijk maken om de causaliteitsclaim toe te passen.

4. Bohm

Bohm omschrijft de entiteiten uit de expliciete orde als stabiele en locale structuren. Ze zijn extern aan elkaar en gaan enkel lokaal met elkaar in interactie. De expliciete orde is dus de beschrijving van de wereld in termen van externe relaties. De impliciete orde legt eerder de nadruk op de relatie. In de impliciete orde is alles intern aan elkaar en bestaan er geen afzonderlijke entiteiten. Hier hebben we duidelijk te maken met een interne beschrijving.

5. Löfgren

Bij Löfgren zien we hoe het proces van interpretatie vertrekt van statische gegevens en ze verbindt met andere gegevens. Dat is duidelijk een extern proces. Bij het proces van beschrijving daarentegen zijn het de oneindige en dynamische ideeën (relatie) die een bepaald geheel genereren.

6.2. *Complementariteit*

Wanneer we de realiteit beschrijven hebben we altijd beide beschrijvingen nodig, hoewel ze elkaar wederzijds uitsluiten. De kenmerken van de interne en externe beschrijvingen sluiten elkaar uit.

| <i>Externe beschrijving</i> | <i>Interne beschrijving</i> |
|------------------------------------|------------------------------------|
| Nadruk op substantie | Nadruk op relatie |
| Accidentele verandering | Substantiële verandering |
| Propositie | Functie |
| Externe predicaten | Interne predicaten |
| Digitaal | Analoog |
| Expliciete betekenis | Impliciete betekenis |
| Geheel als som van de delen | Holistisch geheel |
| Niveau n+1 | Niveau n |
| Juiste of foute beweringen | Ambigue beweringen |

Het is daarbij belangrijk om in te zien hoe de interne en de externe beschrijving voortdurend afwisselen en hoe eenzelfde realiteit vanuit de twee beschrijvingen kan gezien worden.

Zo kan een gezin gezien worden als een complex geheel van relaties (waarbij we met een interne beschrijving het gedrag van de constituerende onderdelen beschrijven), maar ook als een eenheid (met externe eigenschappen) die zich handhaaft in de omgeving. Het resultaat van de interne beschrijving is dat er uit het relatiernetwerk een eenheid verschijnt. Deze eenheid is het vertrekpunt van de externe beschrijving. Vanuit deze externe beschrijving kunnen we echter niet terug naar de onderdelen uit de interne beschrijving. Voorbeelden hiervan zien we wanneer we bedenken dat emergente eigenschappen niet herleidbaar zijn tot eigenschappen van de onderdelen (systeemtheorie), of dat een beschrijving in termen van ensembles niet herleidbaar is tot een beschrijving in termen van paden. De emergente eigenschappen of het ensemble zijn immers niets anders dan de interne relatie, die we vertalen naar een externe substantie-eigenschap (in het geval van emergente eigenschappen) of een externe substantie (in het geval van het ensemble). De relatie tussen de onderdelen in een externe beschrijving is echter enkel de ‘optelling’ van de onderdelen.

Wanneer we een systeem als black box beschrijven, maken we dus abstractie van de interne beschrijving. De interne beschrijving is dan een ‘gegeven’. Zo sluit ook een beschrijving in termen van paden en een beschrijving in termen van ensembles elkaar uit. En Bohrs causale

modus en de ruimte-tijd modus zijn complementair. Ten slotte is de impliciete orde complementair ten opzichte van de expliciete orde.

Wanneer we overschakelen van een interne beschrijving naar een externe beschrijving, verdwijnt het interne verband:

| | Interne relatie | Externe entiteit |
|----------------|--|--|
| Systeemtheorie | relatie tussen de onderdelen die emergentie creëren | systeem als geheel (optelsom van elementen) |
| Prigogine | Statistische eigenschappen | Ensemble als ‘som van paden’ |
| Bohr | Causaliteit (behoudswetten) | toestand van systeem |
| Bohm | impliciete samenhang/actieve informatie | element uit expliciete orde |

We zien hier duidelijk hoe de interne relatie door de vertaling naar een externe beschrijving verdwijnt. Wanneer we bijvoorbeeld in de externe beschrijving spreken van een ensemble als geheel met bepaalde eigenschappen, dan impliceren we daarmee dat de onderdelen kunnen beschreven worden als een optelsom van verschillende paden. Kenmerkend voor de externe beschrijving is immers de optelbaarheid van de onderdelen. Een ensemble als statistische beschrijving kan echter niet herleid worden tot een beschrijving in termen van paden.

Wanneer we de hiërarchie van de interne beschrijving volgen, dan blijkt dat de verticale interne relatie (de relatie geheel-onderdelen) bepalend is voor de relatie tussen de onderdelen (de horizontale interne relatie). Laten we die onderdelen A en B noemen. Daardoor kunnen we over de onderdelen enkel ‘interne predicaten’ prediceren. Kenmerkend voor interne predicaten is dat ze enkel geldig zijn zolang de interne relatie blijft gelden. Vertalen we naar de externe relatie, dan verdwijnt de complementariteit. Het interne predicaat wordt een extern predicaat. Deze vertaling heeft twee gevolgen: naar de hiërarchie van de interne relatie betekent dit een herinterpretatie van het geheel ten opzichte een nog lager niveau gelegen van onderdelen. Dat betekent dat de geheel-deel relatie van respectievelijk A als geheel met zijn delen en B met zijn delen verandert. Anderzijds kunnen we vanuit A en B met de externe predicaten terug grotere gehelen opbouwen in een externe beschrijving. Wanneer we vanuit deze gehelen terug vertalen naar een interne beschrijving is er ook een herinterpretatie.

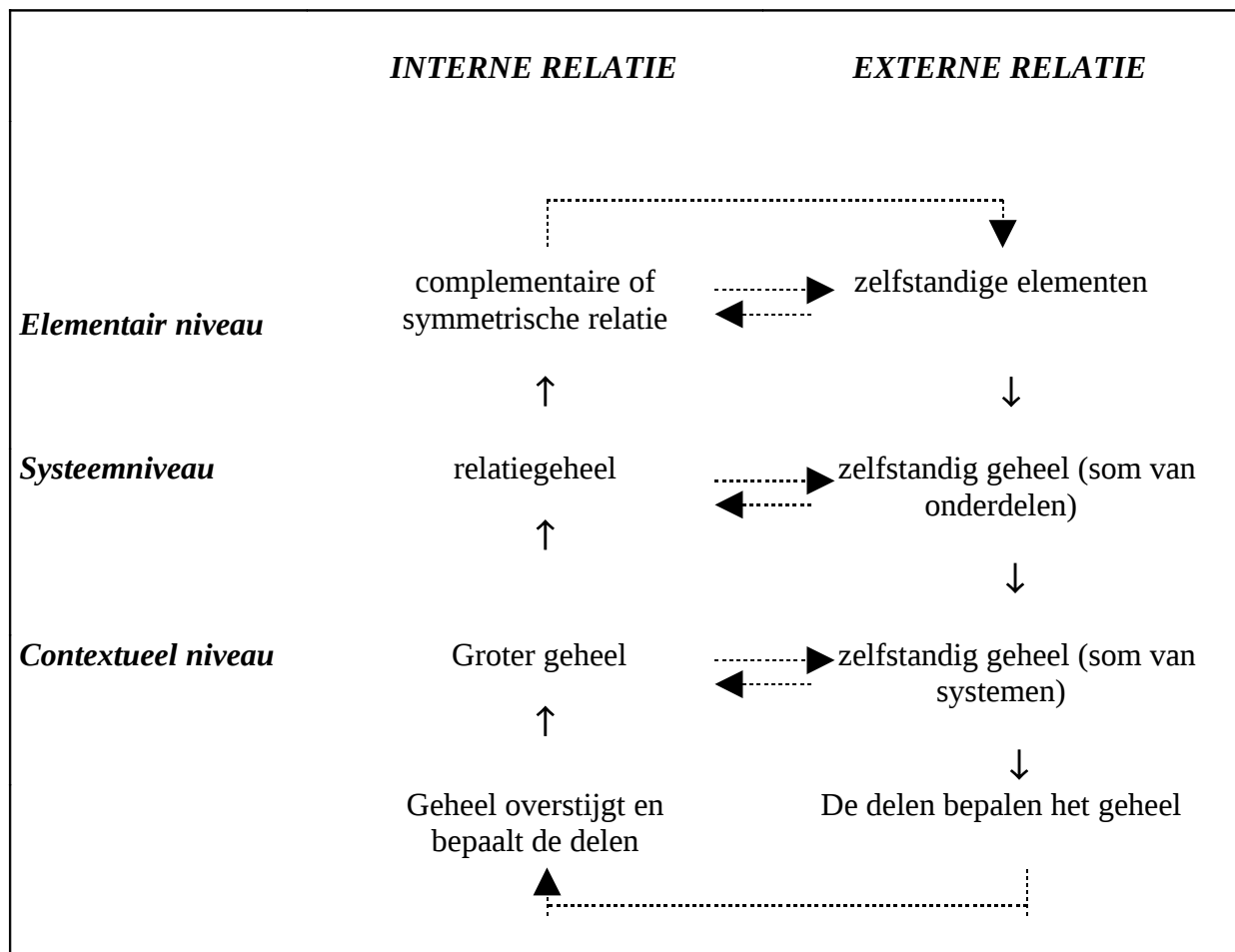
Een herinterpretatie vindt dus steeds plaats wanneer een ‘geheel’ herkaderd wordt. Dat noemde Watzlawick een ‘verandering 2’. Kenmerkend was dat de basisvooronderstellingen van een systeem veranderd werd. Dat kon alleen van buiten het systeem. Telkens we een externe beschrijving geven, zeggen we iets over het systeem als geheel. Een voorbeeld hiervan was Prigogines systemen ver uit evenwicht. Het systeem als geheel moet hier een ander evenwicht zoeken, wat ten opzichte van de onderdelen een verandering op niveau 2 betekent.

6.3. *Ontologische complementariteit*

Op ontologisch vlak kunnen we onderscheid maken tussen een externe en een interne relatie. Een externe relatie doet zich voor wanneer iets zich als een eenheid, een geheel presenteert, een interne relatie is eerder de incorporatie van de omgeving: iets doet zich voor als deel van een groter geheel. De voortdurende wisselwerking tussen interne en externe beschrijvingen is cruciaal voor het ontstaan van leven. Zo is een entiteit in staat om zijn eigen grenzen te handhaven in interactie met de omgeving (externe beschrijving) en anderzijds invloed te ondergaan van de omgeving (interne beschrijving). Op die manier ontstaan er ook verschillende niveaus. We onderscheiden daarbij twee soorten niveaus:

- 1) Circulaire niveaus: dit is de overgang van interne beschrijving naar externe beschrijving en omgekeerd.
- 2) Parallele niveaus: dit is de overgang van elementaire niveau naar systeemniveau, van systeemniveau naar contextueel niveau of omgekeerd van contextueel niveau naar systeemniveau en van systeemniveau naar elementair niveau.

We kunnen nu de werkelijkheid opvatten als een complementair geheel van interne en externe relaties.



De interne en externe relaties omschrijven dus de werkelijkheid als complementair:

- De interne relatie zelf is complementair, door de aard van de relatie. Er bestaan in principe geen dingen op zich, enkel tijdelijke stabiele systemen, die echter door het onderhouden van interne relaties complementair zijn. De entiteiten in een interne relatie hebben geen welbepaalde eigenschappen (p en niet p) maar wijzigen hun eigenschappen overeenkomstig de interne relatie. Ook wijzelf als subject onderhouden een interne relatie met de natuur. We maken dan zelf deel uit van een groter geheel. Dit betekent dat de ‘basiseenheden’ van de werkelijkheid eigenlijk abstracties zijn.

“It follows that ultimately everything in the explicate order of common experience arises from the holomovement. Whatever persists with a constant form is sustained as the unfoldment of a recurrent and stable pattern which is constantly being renewed by enfoldment and dissolved by unfoldment. When the renewal ceases the form vanishes. The notion of a permanently existant entity with a given identity, whether this be a

particle or anything else, is therefore at best an approximation holding only in suitable limiting cases.” (Bohm en Peat, blz. 353)

- De natuur kan zowel interne als externe relaties onderhouden met de omgeving, dat wil zeggen dat entiteiten kunnen deelnemen aan een interne relatie (en hun eigenschappen dus laten afhangen van de relatie) of aan een externe relatie (en hun eigenschappen behouden ondanks de relatie).

6.4. *Relatie epistemologie/ontologie*

Kennisverwerving is een proces waarbij interne en externe beschrijvingen elkaar afwisselen en aanvullen. De externe beschrijving vinden we vooral wanneer we vertrekken van entiteiten die gezien worden als zelfstandige gehelen, die een externe relatie hebben met elkaar. De interne beschrijving vinden we wanneer we eerder de nadruk leggen op de totstandkoming van gehelen door middel van een interne relatie. In de behandeling van de verschillende wetenschappelijke theorieën hebben we overigens gezien hoe ook daar steeds gebruik gemaakt wordt van zowel externe als interne beschrijvingen. Bij de interne beschrijving gaat het dan om de beschrijving van bepaalde relaties. Bij de externe beschrijving vertrekt men van entiteiten met eigenschappen.

De kennisrelatie zelf kan echter ook intern of extern worden beschreven. Beschouwen we de kennisrelatie in een externe beschrijving, dan betekent dat dat we vertrekken van de relatie tussen object en subject. In dat geval zijn object en subject opgenomen in een groter geheel en worden ze bepaald door de relatie. Beschouwen we de relatie in een interne beschrijving, dan vertrekken we van vooraf bestaande ‘entiteiten’. Object en subject zijn dan onafhankelijk van elkaar. Ontologisch kunnen we zeggen dat de kennisrelatie in het ene geval intern is. (object en subject bestaan enkel als resultaat van de relatie), in het andere geval extern (object en subject bestaan onafhankelijk van elkaar).

Mijn stelling is dat de werkelijkheid complementair is, dus ook de relatie tussen subject en object is zowel extern als intern. Door ze echter vanuit epistemologische vooronderstellingen enkel als extern te beschouwen ontstaat de ‘paradox van de kennis’.

We doen enerzijds uitspraken over de realiteit, alsof we er zelf geen deel van uitmaken. We maken dan externe en interne beschrijvingen van de realiteit waarmee we een externe relatie vooronderstellen. Daardoor doen we een uitspraak over het interne-relatiegeheel waarin subject en object vervat zijn. Dat wil dus zeggen dat het subject iets zegt over het ‘subject-

object-geheel'. Vermits er hier zelfreferentie is en een verandering op niveau 2 verandert het interne verband tussen subject en object. We hebben ook gezien hoe de interne relatie de 'inhoud' bepaalt. Dit betekent dus ook dat 'kennisinhoud' het gevolg is van de interne relatie. Waar we dus vanuit de vereiste om objectiviteit te bereiken het subject en het object strikt gescheiden hebben, merken we nu dat we juist hierdoor de relatie tussen onszelf en werkelijkheid vervormen en ook andere kennisinhouden genereren.

Einstein stelde de wereld voor als een gesloten klok waarvan we het mechanisme proberen te ontrafelen. Hij plaatste daarbij de waarnemer buiten de klok. Hiermee verandert hij het mechanisme dat hij wil bestuderen, want het subject zit 'in' de wereld en is een essentieel onderdeel van het 'klokmechanisme' dat de wereld voorstelt.

7. Toepassingen

Vergeleken met de vooruitgang van de natuurwetenschappen lijkt wijsbegeerte weinig antwoorden te geven. De vooruitgang van filosofie lijkt eruit te bestaan steeds beter de fundamentele vragen te stellen. Als er al filosofische vragen beantwoord zijn, dan is het vooral vanuit wetenschappelijke hoek dat het antwoord kwam. Denk maar aan Democritus' theorie over atomen.

We kunnen ons dan ook de vraag stellen waar filosofie nog iets te bieden kan hebben. Mijns inziens heeft wijsbegeerte onder andere volgende belangrijke functies:

- Metafysisch: het geven van een referentiekader of 'wereldbeeld' dat de verschillende wetenschappelijke disciplines overstijgt. Deze functie is des te belangrijker geworden door de wetenschappelijke fragmentering in verschillende disciplines. De waarde van zo'n denkkader wordt vooral bepaald door de mogelijkheden tot interdisciplinariteit, zodat er een denkkader is waarin verschillende disciplines elkaar kunnen begrijpen.
- Epistemologisch: het verder verfijnen van de wetenschappelijke methode en kritische bevraging van de resultaten van wetenschappelijk onderzoek binnen een breder kader.

Hoewel deze twee functies perfect afzonderlijk kunnen nagestreefd worden, meen ik toch dat ze nauw samenhangen. Een totaalvisie impliceert immers ook een zicht op onze manier van

kennen. Meer nog, een wereldbeeld of een totaalvisie kan als toetssteen worden gebruikt om kritisch naar wetenschap te kijken én de methode te bevragen.

Vanuit deze vertrekpunten, wil ik nu mijn ‘complementaire visie’ toetsen op haar bruikbaarheid.

- Als denkkader kunnen we dit systeem gebruiken om diverse terreinen in de wetenschap te beschrijven, zoals gebleken is in hoofdstukken uit deel 2. Zo wordt het mogelijk vanuit een interdisciplinair referentiekader enkele vragen te herformuleren of totaal nieuwe vragen te introduceren.
- Vanuit een complementaire visie wordt het mogelijk om een methode te ontwikkelen, waarbij object en subject complementair samenhangen.

Wat het eerste betreft kunnen we een aantal vragen herformuleren. Ik zal de vragen in algemene termen formuleren en voorbeelden geven uit de menswetenschappen. Vanuit mijn achtergrond als socioloog en filosoof, acht ik het niet verstandig om me te wagen aan voorbeelden uit de positieve wetenschappen.

- Waar ligt het ‘break-even-punt’ tussen interne en externe relaties? Anders gezegd: wat is de optimale wisselwerking tussen interne en externe relaties? In deel I hebben we gezien dat leven de capaciteit is om de wisselwerking tussen interne en externe relatie in stand te houden. Wanneer er geen interne verandering meer mogelijk is, wordt alles extern. Als anderzijds de interne relatie zo veranderlijk is, dat er geen vertaling naar ‘externe entiteiten’ meer mogelijk is, dan wordt alles chaotisch. Het is dus van belang om de wisselwerking tussen interne en externe relatie in stand te houden. We kunnen deze vraag vertalen in meer praktische vragen:
 - Hoe gaan organisaties om met de verhouding interne/externe relaties? Het gaat dan om de relatie tussen formele organisatiestructuren en spontane interne verbindingen.
 - Kunnen bepaalde ontwikkelingen in de maatschappij gezien worden in termen van de wisselwerking tussen interne en externe relaties? De interne relaties zijn dan de spontane relatienetwerken die tussen mensen, gezinnen,... bestaan. De externe relaties zijn de formele reglementen en procedures.

- Zijn bepaalde ontwikkelingen in de geschiedenis te verklaren in termen van externe en interne relaties?
- Hoe kunnen de inzichten in verband met externe en interne relaties en beschrijvingen gebruikt worden om gewenste veranderingen aan te brengen in systemen?
- Hoe kan de verhouding tussen interne en externe relaties en beschrijvingen gebruikt worden om een beter zicht te krijgen op het geheel en om interdisciplinariteit te bevorderen?

Wat het tweede punt betreft: een andere methode waarin object en subject nauw samenhangen, kunnen we alvast volgende vaststellingen maken. Vanuit de traditionele epistemologie ging men uit van de object/subject splitsing als methodologische vereiste. Kan er echter ook vanuit de interne relatie tussen subject en object kennis verkregen worden? En hoe vertalen we dat dan naar objectiviteit? Het is duidelijk dat dit verder onderzoek zou vergen. Ik wil hierover toch al enkele ideeën en bedenkingen formuleren.

- Objectiviteit in de zin van kennis van de van het subject gescheiden werkelijkheid is vanuit mijn standpunten uitgesloten. We moeten dan eerder uitgaan van het soort objectiviteit dat Bohr voorstelt. Dit betekent dat objectiviteit eerder een eigenschap van de beschrijving wordt.
- Wat betekent kennis als proces? Ik kan dit het beste illustreren met een zeer praktisch voorbeeld. Hoe leren mensen en kinderen? Iemand zei ooit dat elke studie zelfstudie is. Daarmee wordt bedoeld dat iedereen eigenlijk op zijn eigen manier de kennisinhoud vertaalt. In een één op één leerrelatie zien we duidelijk dat er een interne relatie is, die het leerproces bepaalt. Als de leraar flexibel genoeg is om van zijn vooropgestelde pedagogiek af te stappen, zal hij merken dat elke leerling een andere aanpak vergt. Er is wel een algemene functie die de samenhang geeft tussen de stimulans en uitleg van de leerkracht en de verworven kennis van de leerling, maar iedere leerling zal zijn eigen manier van leren hebben. In onze onderwijspraktijk wordt deze functie echter extern vertaald in specifieke leerpakketten, leermiddelen en pedagogische technieken voor de gemiddelde student. Hiermee verandert de interne relatie. Het beste voorbeeld hiervan is het complete afhaken van hoogbegaafde kinderen, die zich niet kunnen vinden in de gemiddelde leerpraktijken. De klassieke manier om dit op te lossen is een andere methode te gaan gebruiken voor hoogbegaafde kinderen. In plaats daarvan kunnen we echter gebruik maken van de

interne relatie zelf. Concreet betekent dit dat we ons niet meer concentreren op kennisinhouden en vooraf opgestelde pedagogische methoden, maar op de interactiemogelijkheden tussen leraar en leerling, zodat er vanuit de interne relatie een leerinhoud gegenereerd wordt. De leerkracht wordt dan een coach, die flexibel ingaat op de verschillende behoeften van de studenten. Sommigen hebben misschien hier of daar nood aan uitleg, anderen willen juist meer uitdagingen. Op dezelfde manier moeten de verschillende leermiddelen (hoorcollege, softwarepakketten etc) optimaal op elkaar worden afgestemd. Zo zullen sommigen het beste leren als ze de dingen gehoord hebben, anderen werken liever met een zelfstudiepakket. De hamvraag is dan uiteraard hoe die leermiddelen moeten worden opgesteld? We mogen de inhoud immers niet meer in een bepaalde cursus (voor een bepaalde doelgroep) gieten omdat we ons dan weer afstemmen op een gemiddelde student. Evenmin moeten we vooraf bepalen hoe de verschillende leermiddelen gebruikt worden, want iedere student zal een andere mix van leermiddelen gebruiken. In de plaats daarvan moeten we ons concentreren op interactie- en feedbackmogelijkheden, zodat studenten zelf leerinhouden kunnen samenstellen. Als vormingsdeskundige bij de stad Antwerpen heb ik deze methode al met succes uitgetest bij ambtenaren. In een opleiding over sociale vaardigheden werden cursisten aangemoedigd om te vertellen over problemen die ze ervaren en wat hun vragen bij bepaalde situaties waren. Theoretische inzichten en inhoud kwam enkel aan bod als antwoord op deze vragen. De concrete inhoud van de opleiding werd dus volledig door de cursisten gegenereerd.

Uit dit voorbeeld blijkt dat de theorie (kennis over leerprocessen) en de praktijk (de leersituatie zelf) nauw samenhangen.

8. Tot slot

Elk einde is een nieuw begin. Terugkijkend op het werk dat hiermee beëindigd is, kan ik alleen maar vaststellen dat met de nieuwe inzichten ook veel nieuwe vragen zijn ontstaan. Een aantal ideeën uit de theorie (deel 1) zijn nog niet expliciet genoeg geformuleerd. Het hoofdstuk over Löfgren zou ook nog moeten uitgewerkt worden.

Toch denk ik dat ik in mijn opzet geslaagd ben. Mijn voornaamste probleem was namelijk de fragmentatie en versnippering in ons denken. Mijn theorie maakt hieraan beslist geen einde, maar ik denk wel dat ze een aanzet kan geven om op een andere manier over de relatie tussen kennen en zijn te denken.

Het boeiendste deel van deze onderneming ligt gelukkig nog voor me. Ik kijk er naar uit om te horen wat de kritiek en vragen zijn van de professoren, die deel uitmaken van de leescommissie.

LITERATUURLIJST

ACKOFF, Russell L.

1974 "Towards a system of systems concepts" in COUGER Daniel J. & KNAPP Robert W. (eds.), *System Analysis Techniques*. John Wiley & Sons, New York, London, Sydney, Toronto, blz. 27-38.

AGASSI, Joseph

1975 "Science in Flux", *Boston studies in the philosophy of science*; volume 28, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht/Boston.

ALIOTO, Anthony M.

1987 *A History of Western Science*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

ALONSO, Marcelo & FINN, Edward J.

1994 *Fundamentele natuurkunde ten dienste van het wetenschappelijk onderwijs* deel 4, Quantumfysica. Delta Press, Amerongen.

APOSTEL, Leo & VAN DER VEKEN, Jan

1991 *Wereldbeelden, Van fragmentering naar integratie*. DNB/Uitgeverij Pelckmans, Kapellen.

ASHBY, Ross W.

1972 "Principles of Self-Organizing System" in Buckley Walter (ed.), *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*. Aldine Publishing Company, Chicago.

ATKINS, P.W.,

1984 *The Second Law*. Scientific American Library, New York.

AYER, A.J.,

1986 *Filosofie in de twintigste eeuw*, Uitgeverij Kok Agora/Kampen.

BATENS, Diderik

1992 *Menselijke kennis, pleidooi voor een bruikbare rationaliteit*. Garant, Leuven-Apeldoorn.

BATESON, Gregory

1978 *Steps to an Ecology of Mind, Collected Essays in Anthropology, Psychiatry, Evolution and Epistemology*. Paladin Granada Publishing, London, Toronto,

Sydney, New York.

1988 *Mind and Nature. A Necessary Unity*, Bantam Books, Toronto, New York, London, Sydney, Auckland.

- BATESON, Gregory en BATESON, Mary Catherine
1989 *Waar engelen zich niet wagen. Een kentheorie van het heilige.* Uitgeverij Contact, Amsterdam.
- BERGSON, Henri
1907 *L'Evolution Créatrice.* Felix Alcan, Paris.
- BERMAN, Morris
1986 *De Terugkeer van de Betovering. Wetenschap en wereldbeeld.* Uitgeverij Bert Bakker, Amsterdam.
- BERTALANFFY von, Ludwig,
1969 "Chance or law" in KOESTLER ARTHUR & SMYTHIES J.R. (Eds.) *Beyond reductionism. New perspectives in the life sciences. The Alpbach Symposium 1968.* Hutchinsons of London, blz. 56-85.
1972 "General System Theory – A Critical Review" in Buckley Walter (ed.), *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist.* Aldine Publishing Company, Chicago.
1973 *General System Theory, Foundations, Development, Applications.* George Braziller, New York.
1974 "The History and status of General Systems Theory" in COUGER Daniel J. & KNAPP Robert W. (eds.) *System Analysis Techniques.* John Wiley & Sons, New York, London, Sydney, Toronto, blz. 9-26.
- BODIFEE, G.
1988 *Ruimte voor vrijheid.* Uitgeverij Pelckmans, Kapellen.
- BOHM, David
1974 "On the Subjectivity and Objectivity of Knowledge" in LEWIS John (ed.), *Beyond Chance and Necessity. A Critical Inquiry into Professor Jacques Monod's Chance and Necessity.* Humanities Press, Atlantic Highlands, New Jersey.
1983 *Wholeness and the implicate order.* Ark Paperbacks, London and New York.
1989 *Quantum Theory.* Dover Publications, Inc., New York
- BOHM, D. & HILEY, B.J.,
1993 *The undivided universe, an ontological interpretation of quantum theory.* Routledge, London en New York.
- BOHM, David & PEAT, F. David
1987 *Science, order and creativity.* Bantam Books, New York, Toronto, London, Sydney, Auckland.
- BOHR, Niels
1966 *Atoomtheorie en natuurbeschrijving.* Spectrum, Utrecht, Antwerpen.
- BOULDING, Kenneth. E.

- 1972 "General Systems Theory – The Skeleton of Science", in Buckley Walter (ed.), *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*. Aldine Publishing Company, Chicago.
- BUCKLEY, Walter (ed.),
1972a *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*. University of California, Santa Barbara.
- BUCKLEY, Walter
1972b "A System Approach to Epistemology" in KLIR George J (ed.) *Trends in General Systems Theory*. Wiley-Interscience, New York, London, Sydney, Toronto, blz. 188-203.
- CAPRA, Fritjof
1996 *Het levensweb*. Kosmos, Z&K Uitgevers, Utrecht/Antwerpen.
- CARROLL, John B.
1971 *Language, Thought and Reality. Selected Writings of Benjamin Lee Whorf*. The M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts.
- CARVALLO, Marc E. (ed.)
1988 *Nature, Cognition and System I. Current Systems-Scientific Research on Natural and Cognitive Systems*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London.
1992 *Nature, Cognition and System II. Current Systems-Scientific Research on Natural and Cognitive Systems. Volume 2: On Complementarity and Beyond*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London.
- CARVALLO, Marc E.
1992 "A brief prolegomenon to the principle of metaphoricity" in Carvallo Marc E. (ed.) *Nature, Cognition and System II. Current Systems-Scientific Research on Natural and Cognitive Systems. Volume 2: On Complementarity and Beyond*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, blz. 325-375.
- CASSIRER, Ernst
1953 *Substance and function and Einstein's theory of relativity*. Dover Publications, Inc, New York.
1985 *The philosophy of symbolic Forms, Volume 3: The Phenomenology of Knowledge*. BookCrafters, Inc., Fredericksburg, Virginia.
- CAUFFMAN, L.
1985 "Recente ontwikkelingen in systeemdenken: de bijdragen van Maturana en Varela" in IGODT P. (red.), *Familietherapie*, Acco, Leuven/Amersfoort, blz. 87-105.
- CAUFFMAN, L. & VANMARCKE, D.
1985 "Gezinssysteem en verandering: de nieuwe epistemologie" in IGODT P. (red.), *Familietherapie*, Acco, Leuven/Amersfoort, blz. 71-87.
- CERULUS, Frans & THYS, Willy

- 1992 *Inleiding tot de quantummechanica*. Garant, Leuven/Apeldoorn.
- CHURCHMAN, C. West
- 1975 *De systeem-benadering*. Samsom Uitgeverij Alphen aan den Rijn, Brussel.
- COHEN, Robert S. & SEEGER, Raymond J.
- 1970 "Ernst Mach Physicist and Philosopher", *Boston Studies in the philosophy of science*, Volume VI., Dordrecht-Holland, D. Reidel Publishing Company.
- COUGER, Daniel J. & KNAPP, Robert W. (eds.)
- 1975 *System Analysis Techniques*. John Wiley & Sons, New York, London, Sydney, Toronto.
- CRAIG, Edward (ed.)
- 1998 *Routledge Encyclopedia of Philosophy*. Volume 8, Routledge, London en New York.
- CRICK, Malcolm
- 1976 *Explorations in Language and Meaning. Towards a Semantic Anthropology*. Malaby Press, London, Melbourne, Toronto.
- CRUTCHFIELD, J.P & FARMER, J.D & PACKARD, N.H. & SHAW, R.S.
- 1986 "Chaos" in *Scientific American*, December 1986, Volume 255, nr. 6, blz. 38-42.
- DAVIES, P.C.W.
- 1989 *Quantummechanics*. Chapman and Hall, London, New York
- DAVIES, Paul
- 1990 *God and the New Physics*. Penguin Books, Middlesex.
- DE LEY, H.
- 1985 *De Ioniërs*, Gent.
- EDDINGTON, A.S.
- 1942 *The Nature of the Physical World*. J.M. Dent & Sons Limited, London.
- EDWARDS, Paul (ed.)
- 1972 *The Encyclopedia of Philosophy*. Volume 3, MacMillan Publishing Co & The Free Press, New York, London.
- ELSTER, John
- 1984 "Active and Passive Negation: An Essay in Ibanskian Sociology" in WATZLAWICK Paul (ed.) *The Invented Reality. How Do We Know What We Believe We Know? Contributions to Constructivism*. W.W. Norton & Company, New York, London, blz. 175-206.
- FALLETTA, Nicholas,
- 1989 *Logische en onlogische paradoxen*. Aramith uitgevers Bloemendaal.

- FEYNMAN,
1966 *The Feynman Lectures on Physics*. Addison-Wesley Publishing Company.
California, London, Amsterdam, Ontario, Sydney.
- FLOOD & JACKSON (eds.),
1992 *Critical Systems Thinking*. John Wiley & Sons, Chichester, New York,
Brisbane, Toronto, Singapore.
- FOLSE, Henry J.,
1985 *The philosophy of Niels Bohr, The Framework of Complementarity*. Elseviers
Science Publishers, Amsterdam.
1992 "Complementarity and our knowledge of nature" in Carvallo Marc E. (ed.)
*Nature, Cognition and System II. Current Systems-Scientific Research on
Natural and Cognitive Systems*. Volume 2: On Complementarity and Beyond.
Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London.
- GAMOW, George
1988 *Great physicists from Galileo to Einstein*. Dover Publications Inc., New
York.
- GIBBINS, Peter
1987 *Particles and Paradoxes: the limits of Quantum Logic*. Cambridge.
- GLEICK, James
1987 *Chaos. De derde wetenschappelijke revolutie*. Uitgeverij Contact,
Amsterdam.
- GRIBBIN, John
1985 *Op zoek naar Schroedingers kat : quantumfysica en de werkelijkheid*.
Uitgeverij Contact, Amsterdam.
- HALL, A.D. en FAGEN, R.E.
1972 "Definition of System" in Buckley Walter (red.), *Modern Systems Research
for the Behavioral Scientist*. Aldine Publishing Company, Chicago.
- HALL, E.W.
1963 "Of What Use Are Whitehead's Eternal Objects" in KLINE G. L. (ed.)
Alfred North Whitehead: Essays on His Philosophy. Prentice-Hall, Inc.
Englewood Cliffs, blz. 102-116.
- HARRE, Rom
1985 *The Philosophies of Science*. Oxford University Press, Oxford, New York.
- HARRE, Rom (ed.)
1986 *The Physical Sciences since Antiquity*. Croom Helm, London & Sydney.
- HAWKING, Stephen
1988 *Het heelal. Verleden en toekomst van ruimte en tijd*. Uitgeverij Bert Bakker.
Amsterdam.

- HAYWARD, Jeremy W.
1987 *Shifting Worlds, Changing Minds. Where the Sciences and Buddhism Meet.* New Science Library. Shambhala, Boston en London.
- HEISENBERG, Werner
1962 *La nature dans la physique contemporaine.* Editions Gallimard.
1990 *Physics & Philosophy. The Revolution in Modern Science.* Penguin Books, London.
- HENDRICKX, Jos & BOECKHORST, Frans & COMPERNOLLE Theo & VAN DER PAS Alice,
1991 *Handboek gezinstherapie 1*, Bohn Stafleu Van Loghum, Houten/Antwerpen.
- HERBERT, Nick
1987 *Quantum Reality. Beyond the new physics.* Anchor Books, New York.
- HEYLIGHEN, Francis
1992 "From Complementarity to Bootstrapping of Distinctions: A Reply to Löfgren's Comments on my Proposed 'Structural Language'" in *International Journal of General Systems* 21, no. 1, blz. 99.
- HILGEVOORD, J.
1992 "Bohr's Idea of Complementarity", in Carvallo Marc E. (ed.), *Nature, Cognition and System II. Current Systems-Scientific Research on Natural and Cognitive Systems. Volume 2: On Complementarity and Beyond.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London.
- HOBSON, E.W.
1968 *The Domain of Natural Science.* The Gifford Lectures delivered in the University of Aberdeen in 1921 and 1922. Dover Publications, Inc. New York.
- 't HOOFT, Gerard (red.)
1989 *Van Quantum tot Quark. Inleiding tot de quantummechanica : golven en deeltjes.* Stichting Teleac, Utrecht.
- IGODT, Paul (red.)
1985 *Familietherapie.* Acco, Leuven/Amersfoort
- JAMMER, Max
1966 *The conceptual development of quantum mechanics.* Mc Graw-Hill Book Company, New York, St. Louis, San Francisco, Toronto, London, Sydney.
1974 *The philosophy of quantum mechanics, The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective.* John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.

JEANS, Sir James

1981 *Physics and Philosophy*. Dover Publications Inc., New York.

KEDROV, B.M.

1977 "Evolution of the concept of matter in science and philosophy" in BUTTS Robert E. en HINTIKKA Jaakko (eds.), *Historical and Philosophical Dimensions of Logic, Methodology and Philosophy of Science*. Reidel Publising Company, Dordrecht, blz. 187-208.

KENNY, Vincent

1998 "Gregory Bateson's Notion of the Sacred – What Can it Tell Us about Living Constructively" ongepubliceerd artikel, voor speciale editie van Italiaanse tijdschrift *AlfaZeta*, Publicatie Januari 1998.

KEUNING, D.

1973 *Algemene systeemtheorie, systeembenadering en organisatie-theorie, Een systematiserende verkenningstocht door de 'systems jungle' en een onderzoek naar enkele consequenties van het systeemdenken voor de organisatie-theorie*. H.. Stenfert Kroese bv, Leiden.

KLINE, G. L. (ed.)

1963 *Alfred North Whitehead: Essays on His Philosophy*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs.

KLIR, George J (ed.)

1972 *Trends in General Systems Theory*. Wiley-Interscience, New York, London, Sydney, Toronto.

KOESTLER, Arthur & SMYTHIES J.R. (Eds.)

1969 *Beyond reductionism. New perspectives in the life sciences. The Alpbach Symposium 1968*. Hutchinsons of London.

KOESTLER, Arthur

1969 "Beyond atomism and holism – the concept of the holon" in KOESTLER Arthur & Smythies J.R. (Editors) *Beyond reductionism. New perspectives in the life sciences. The Alpbach Symposium 1968*. Hutchinsons of London, blz. 192-233.

1981 *De menselijke tweespalt*. De Nederlandse Boekhandel, Kapellen.

KORZYBSKI, ALFRED

1973 *Science and sanity. An introduction to non-Aristotelian systems and general semantics*. The Colonial Press Inc, Clinton, Mass.

KRAMER, N.J.T.A. & De Smit, J

1991 *Systeemdenken*, Stenfert Kroese Uitgevers, Leiden/Antwerpen.

- KRAUS, Elizabeth M.
1979 *The metaphysics of experience. A Companion to Whitehead's Process and Reality.* Fordham University Press, New York.
- KROES, Peter
1996 *Ideaalbeelden van wetenschap. Een inleiding tot de wetenschapsfilosofie.* Boom, Amsterdam, Meppel.
- LASZLO, Ervin
1972a *Introduction to systems philosophy, Toward a New Paradigm of Contemporary Thought.* Gordon and Breach, Science Publishers, New York, London, Paris.
1972b *The systems view of the world, The Natural Philosophy of the New Developments in the Sciences.* Basil Blackwell, Oxford.
- LECLERC, Ivor
1986 *Whitehead's metaphysics.* University Press of America, Inc., Lanham, London.
- LESHAN, Lawrence & MARGENAU, Henry
1987 *De ruimte van Einstein en de hemel van Van Gogh.* Mirananda, Den Haag.
- LEWIS, John (ed.)
1974 *Beyond Chance and Necessity. A Critical Inquiry into Professor Jacques Monod's Chance and Necessity.* Humanities Press, Atlantic Highlands, New Jersey.
- LIJNSE, P.L.
1981 *Kwantummechanica. Een eenvoudige inleiding.* Aula-Paperback 60, Uitgeverij Het Spectrum, Utrecht.
- LÖFGREN, LARS
1988 "Towards System: From Computation to the Phenomenon of Language" in CARVALLO Marc E. (Editor), *Nature, Cognition and System I. Current Systems-Scientific Research on Natural and Cognitive Systems.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, blz. 129-157.
1992 "Complementarity in Language: Toward a General Understanding" in CARVALLO Marc E. (Editor), *Nature, Cognition and System II. Current Systems-Scientific Research on Natural and Cognitive Systems. Volume 2: On Complementarity and Beyond.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, blz. 113-155.
- LOSEE, John
1974 *A Historical Introduction to the Philosophy of Science.* Oxford University Press, London, Oxford, New York.
- MAEX, Hedwig
1982 *Het systeemdenken bij Gregory Bateson.* Licentiaatsverhandeling. Leuven.

- MATURANA, Humberto R. & VARELA, Francisco J.
 1989 *De boom der kennis. Hoe wij de wereld door onze eigen waarneming creëren.*
 Uitgeverij Contact, Amsterdam.
- MAXWELL, Nicholas
 1984 *From Knowledge to Wisdom. A revolution in the aims and methods of Science.*
 Basil Blackwell, Oxford, New York.
- McEVOY, J.P. & ZARATE, Oscar
 1997 *Quantummechanica voor beginners.* Elmar B.V., Rijswijk
- McNEILL, David
 1969 "Empiricist and nativist theories of language: George Berkeley and Samuel
 Bailey in the 20th Century" in KOESTLER Arthur & Smythies J.R. (Eds.)
*Beyond reductionism. New perspectives in the life sciences. The Alpbach
 Symposium 1968.* Hutchinsons of London.
- MEHRA, Jagdish (ed.)
 1973 *The Physicist's Conception of Nature.* D. Reidel Publishing Company,
 Dordrecht-Holland/Boston-U.S.A.
 1974 *The Quantum Principle: Its interpretation and epistemology.* D. Reidel
 Publishing Company, Dordrecht-Holland/Boston-U.S.A.
- MERLEAU-PONTY
 1977 *La structure du comportement.* Paris
- MOTZ, Lloyd & WEAVER, Jefferson Hane
 1993 *Geschiedenis van de natuurkunde.* Het Spectrum B.V., Utrecht.
- MURDOCH, Dugald
 1990 *Niels Bohr's philosophy of physics.* Cambridge University Press, Cambridge,
 New York, Port Chester, Melbourne, Sydney.
- NARDONE, Giorgio & WATZLAWICK Paul
 1993 *The Art of Change. Strategic Therapy and Hypnotherapy Without Trance.*
 Jossey-Bass Publishers, San Francisco.
- PAIS, Abraham
 1991 *Niels Bohr's times, in physics, philosophy, and polity.* Clarendon Press,
 Oxford.
- PEAT, David F.
 1987 *Synchroniciteit: Brug tussen Geest en Materie.* Lemniscaat b.v., Rotterdam.
 1991 *The philosopher's stone. Chaos, Synchronicity and the Hidden Order of the
 World.* Bantam Books, New York, Toronto, London, Sydney, Auckland.

POLANYI, Michael

1967 *The tacit dimension*. Anchor Books, Garden City, New York.

1973 *Personal knowledge: towards a post-critical philosophy*. Routledge and Kegan, London.

PRIGOGINE, Ilya

1961 *Thermodynamics of Irreversible Processes*. Interscience Publishers. New York, London, Sydney.

1986 "Irreversibility and Space-Time Structure in GRIFFIN D.R. (red.), *Physics and the Ultimate Significance of Time*. State University of New York Press, blz. 232-251.

1988 "Un siècle d'espoir" in *Temps et Devenir*. Editions Patino, Genève.

1996 *Het einde van de zekerheden. Tijd, chaos en de natuurwetten*. Uitgeverij Lanno, Tielt.

PRIGOGINE, Ilya & STENGERS, Isabelle

1984 *Order out of chaos. Man's new dialogue with nature*. Bantam Books, Toronto, New York, London, Sydney.

1988 *Entre le temps et l'éternité*. Librairie Arthème Fayard.

RAE, Alastair

1989 *Quantum physics: illusion or reality?* Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney

REICHENBACH, Hans

1947 *Elements of Symbolic Logic*. The Free Press, New York, London.

ROSZACK, T.

1974 *Where the Wasteland Ends. Politics and Transcendence in Post Industrial Society*. London.

SHAW, Robert & BRANSFORD, John (eds.)

1975 *Perceiving, acting and knowing. Toward an Ecological Psychology*. Hillsdale, New York.

SCHIFF, Leonard I.

1988 *Quantum Mechanics*. Mc.Graw-Hill Book Company, Singapore.

SKLAR, Lawrence

1992 *Philosophy of Physics*. Oxford University Press. Oxford.

SMAIL, David

1993 *The Origins of Unhappiness: A New Understanding of Personal Distress*. Harper Collins, London.

THE WORDVIEWS GROUP

1995 *Perspectives on the World: an interdisciplinary reflection*. VUBPress, Brussel.

- VARELA, Francisco J.
 1984 "The Creative Circle: Sketches on the Natural History of Circularity" in WATZLAWICK Paul (ed.) *The Invented Reality. How Do We Know What We Believe We Know? Contributions to Constructivism*. W.W. Norton & Company, New York, London, blz. 309-325.
- VARELA, Francisco J & THOMPSON, Evan & ROSCH, Eleanor
 1989 *The Embodied Mind. Cognitive Science and Human Experience*. Massachusetts.
- VAN BELLE, Hubert & VAN DER VEKEN, Jan
 1994 "Inleiding. Van project tot eerste schetsen" in WORLDVIEWS (AERTS Diederik, APOSTEL Leo, DE MOOR Bart, HELLEMANS Staf, MAEX Edel, VAN BELLE HUBERT EN VAN DER VEKEN Jan), *Cirkelen om de wereld. Concrete invullingen van het wereldbeelden-project*. Uitgeverij Pelckmans, Kapellen.
- VANDERBOUWHEDE, A.
 1989 "Deterministische chaos: Van Henri Poincaré tot Mitchell Feigenbaum" in Klint (red.), *Nieuwe visies in de wetenschap*. Acco, Leuven, Amersfoort.
- VAN DER VEKEN, Jan
 1980 Whiteheads filosofie van de creativiteit" in *Tijdschrift voor Filosofie*, 42, blz. 11-47.
 1984.85 "Whiteheads zicht op de werkelijkheid" in *Wijsgerig perspectief op maatschappij en wetenschap*, nr. 4, blz. 123-128.
- VANMARCKE, D. & IGODT, P.
 1985 "Gezinstherapie bij rigide systemen. Theoretische beschouwingen: 'de ene paradox de andere'" in IGODT P. (red.) *Familietherapie*, Acco, Leuven/Amersfoort, blz. 17-35
- VANMARCKE, D. & CAUFFMAN, L.
 1985 "Gezinssystemen bij rigide systemen. Voorbeelden uit de praktijk van een paradoxale gezinstherapie. In IGODT P. (red) *Familietherapie*. Acco, Leuven/Amersfoort, blz. 71-87.
- VLASTOS, G.
 1963 "Organic Categories in Whitehead" in KLINE G. L. (ed.) *Alfred North Whitehead: Essays on His Philosophy*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs.
- WALDROP, Mitchell M.
 1994 *De rand van chaos, Over complexe systemen*. Uitgeverij Contact, Amsterdam, Antwerpen.
- WALROND-SKINNER, Sue

- 1976 *Het gezin in therapie, de behandeling van natuurlijke systemen.* Van Loghum Slaterus, Deventer.
- WATZLAWICK, Paul & BEAVIN, Janet Helmick & JACKSON, Don D.
1970 *De pragmatische aspecten van de menselijke communicatie.* Van Loghum Slaterus, Deventer.
- WATZLAWICK, Paul
1977 *Is 'werkelijk' waar? Spraakverwarring, zinsbegoocheling en onvoorstelbare werkelijkheid.* Van Loghum Slaterus, Deventer.
- 1984a "Self-fulfilling Prophecies" in WATZLAWICK Paul (ed.)
The Invented Reality. How Do We Know What We Believe We Know? Contributions to Constructivism. W.W. Norton & Company, New York, London, blz. 95-117.
- 1984b "Components of Ideological "Realities" in WATZLAWICK Paul (ed.)
The Invented Reality. How Do We Know What We Believe We Know? Contributions to Constructivism. W.W. Norton & Company, New York, London, blz. 206-249.
- WATZLAWICK, Paul (ed.)
1984c *The Invented Reality. How Do We Know What We Believe We Know? Contributions to Constructivism.* W.W. Norton & Company, New York, London
- WATZLAWICK, Paul & WEAKLAND, John & FISCH, Richard
1975 *Changements, Paradoxes et psychothérapie.* Editions du Seuil, Paris.
- WEINBERG, Steven
1980 *Dromen over een alomvattende theorie.* Uitgeverij Contact. Amsterdam/Antwerpen.
- WEISS, PAUL A.
1969 "The living system: determinism stratified" in KOESTLER Arthur & SMYTHIES J.R. (eds.) *Beyond reductionism. New perspectives in the life sciences. The Alpbach Symposium 1968.* Hutchinsons of London, blz. 3-56.
- WERKMEISTER, W.H.
1968 *The basis and structure of knowledge.* Greenwood Press, Publishers, New York.
- WHITEHEAD, Alfred North
1967a *Science and the Modern World. Lowell Lectures, 1925.* The Free Press, New York.
- 1967b *Adventure of Ideas.* The Free Press, New York, London
- 1968 *Modes of Thought.* The Free Press, New York.
- 1971a *The concept of Nature.* University Press, Cambridge
- 1971b *Religion in the Making.* New York.
- 1978 *Process and Reality, An essay in cosmology.* The Free Press, New York, London

WHORF, Benjamin Lee

1971 *Language, Thought and Reality*. Selected writings of Benjamin Lee Whorf,
 Edited by Carroll John B., Massachusetts Institute of Technology, Cambridge,
 Massachusetts.

ZUKAV, G.

1987 *De dansende woe-li meesters. Een overzicht van de nieuwe fysica*. Uitgeverij
 Bert Bakker, Amsterdam.

